



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การกำจัดสีข้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานข้อมผ้าโดยใช้เปลือกกะลาเผาผสมกับดิน
เพื่อเป็นวัสดุเพาะปลูกสำหรับต้นกกกล่มและต้นชูบฤาษี

Dyes Removal in Textile Wastewater by Using Coffee Endocarp Residual in Mixed
with Soil as Growing Materails for Umbrella and Cattail Plants

นามผู้วิจัย นางสาวนันทน์ โอชะ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การกำจัดสีข้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานข้อมผ้าโดยใช้เปลือกกะลากาแฟผสมกับดิน
เพื่อเป็นวัสดุเพาะปลูกสำหรับต้นกกกลมและต้นธูปฤาษี

Dyes Removal in Textile Wastewater by Using Coffee Endocarp Residual in Mixed
with Soil as Growing Materails for Umbrella and Cattail Plants

โดย

นางสาวนันทน์ โอหะ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2556

วณันท์ โอชกะ 2556: การกำจัดสีข้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานข้อมผ้าโดยใช้เปลือก
กะลาเผาผสมกับดินเพื่อเป็นวัสดุเพาะปลูกสำหรับต้นกกกลมและต้นรูปดาบี่ ปริญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์
นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, Ph.D. 79 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกกะลาเผาเพื่อกำจัดสี
ข้อมในน้ำเสียจากโรงงานข้อมผ้า โครงการพัฒนาโดย อ.เนื่องมาจากพระราชดำริ โดยการ
ทดลองแบบเบดซ์ เพื่อทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีข้อม 9 ชนิด (Super Black G,
Turquoise H-GN, Yellow LS-4G, Yellow LS-R-01, Orange LS-BR, Navy LS-G, Red LS-B, Blue
LS-3R and Br.Blue LS-G) จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณตัวดูดซับ 9 กรัม น้ำ
เสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 และระยะเวลากำจัด 3
ชั่วโมง เปลือกกะลาเผาอบและผ่านเปลือกกะลาเผาให้ร้อยละการกำจัดสีข้อมเท่ากับ 63.68
และ 67.98 ตามลำดับ กลไกการดูดซับของเปลือกกะลาเผาอบและผ่านเปลือกกะลาเผา
สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ ส่วนการทดลองด้วยวิธีไหลต่อเนื่อง โดยใช้คอลัมน์ขนาด
5.8 x 37 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุชั้นกรวด 7 ซม., ทรายหยาบ 3 ซม., ทรายละเอียด 2 ซม. และส่วนผสม
เปลือกกะลาเผาอบกับดิน ที่อัตราส่วน 1:6 พบว่า สามารถกำจัดสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ
98.26 และให้ร้อยละการกำจัดเท่ากับ 78.73 สำหรับน้ำเสียจากโครงการพัฒนาโดย นอกจากนี้
ได้ทำการทดลองด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยทำการทดลองด้วยเทคนิคการ
กรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก โดยใช้กระบะพลาสติกขนาด 51 x 51 x 54 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุวัสดุ
ปลูกเช่นเดียวกับการทดลองแบบไหลต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นกกกลมและต้นรูปดาบี่บำบัดน้ำ
เสียสังเคราะห์ โดยแช่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง พบว่า สามารถกำจัดสีข้อมได้ร้อยละ 98.19 สำหรับการปลูก
ต้นกกกลม และ 99.56 สำหรับการปลูกต้นรูปดาบี่

Wanassanun Ojaka 2013: Dyes Removal in Textile Wastewater by Using Coffee Endocarp Residual in Mixed with Soil as Growing Materials for Umbrella and Cattail Plants. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 79 pages.

The objective of this research was to study the feasibility of using coffee endocarp residual and macadamia shell from Doi Tung Development Project to remove dyes from textile factory wastewater. Batch experiments were performed to investigate the suitable condition for removal of 9 dyes (Super Black G, Turquoise H-GN, Yellow LS-4G, Yellow LS-R-01, Orange LS-BR, Navy LS-G, Red LS-B, Blue LS-3R and Br.Blue LS-G). The results showed that at the suitable condition (9 gram of coffee endocarp residual 100 mL of 20 ppm of synthetic wastewater pH 7 and contact time 3 hr.) of the dried and charcoal adsorbents from coffee endocarp residual 63.68% and 67.98% dye removal in the synthetic wastewater respectively. The adsorption mechanism of both dried coffee endocarp and charcoal were residual conformed to the langmair adsorption isotherm. The continuous flow experiment was performed by using glass column size 5.8 x 37 cm that containing with gravel 7 cm., fine sand 3 cm, coarse sand 2 cm and mixing of dried coffee endocarp residual and soil at 1:6. The removal percentages of adsorbents was obtained at 98.26 % from synthesis waste water and 78.73 % for Doi Tung textile factory effluent respectively. In addition, the constructed wetlands system of the King's Royally was reproduced by the filtrated lysimeter technique. The experiment was carried out by using the square plastic tank with size 51x51x54 cm that packing with growing material layers as the continuous flow experiment with growing Cyperus Corymbosus Rottb and Typha Angustifolia, and the synthetic wastewater was treated at contact time 3 hours. The results demonstrated that 98.19 % (for Cyperus Corymbosus Rottb) and 99.56 % (for Typha Angustifolia) of dyes were removed.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ กรรมการร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ห้องปฏิบัติการเคมี ในการทำศึกษาวิจัยทดลอง

ขอขอบพระคุณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ได้อนุเคราะห์ด้านเงินทุน ต้นทุนอุปกรณ์และต้นกกกล่ม ในการทำการศึกษาวิจัย

ขอขอบพระคุณ โครงการพัฒนาออยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ตัวดูดซับเปลือกกะลาเผา ตัวอย่างสีย้อมผ้าสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าออยตุง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวโอชะ ที่คอยเป็นกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน และสนับสนุนผู้วิจัยตลอดในทุกเรื่อง ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ตลอดจนทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วันสนันท์ โอชะ

กุมภาพันธ์ 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
สรุป	65
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	67
ภาคผนวก	69
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	79

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน	12
2	ความยาวคลื่นที่แต่ละสีย้อมจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาद्यตุง 9 ชนิด ดูดกลืนแสงได้ดีที่สุด	42
3	อัตราส่วนของเปลือกกะลาเผาต่อดินนา	44
4	สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) กราฟมาตรฐานสีย้อม 9 ชนิด	48
5	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับจากเปลือกกะลาเผาต่อร้อยละการกำจัด สีย้อมจากเปลือกกะลาเผา	52
6	ความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียดจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาद्यตุง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ	57
7	ร้อยละการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิด ด้วยเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนา อัตราส่วน 1: 6 โดยวิธีการไหลต่อเนื่อง	59
8	ร้อยละการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิดของน้ำเสียดเคราะห์ ด้วยเทคนิคการกรองใน หน่วยย่อยขนาดเล็ก	64

ตารางผนวกที่

1	ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมของเปลือกกะลาเผา	70
2	ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมของถ่านเปลือกกะลาเผา	71
3	อิทธิพลของปริมาณเริ่มต้นต่อร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาเผา และถ่านเปลือกกะลาเผา	72
4	อิทธิพลพีเอชกับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาเผาและถ่านกะลาเผา	73
5	อิทธิพลระยะเวลากับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาเผาและถ่าน เปลือกกะลาเผา	73
6	อิทธิพลความเข้มข้นของสีย้อมกับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาเผา และถ่านเปลือกกะลาเผา	74
7	อิทธิพลปริมาณดินกับร้อยละการกำจัดสีย้อม	74
8	อิทธิพลอัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกกะลาเผา: ดิน	75

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบต่างๆของเมล็ดกาแฟ	3
2	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีโคเร็กซ์	6
3	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีรีแอคทีฟ (Reactive blue 4)	6
4	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีเบสิก	7
5	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีแอซิด (Acid red 266)	8
6	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีมอร์แดนต์ (Mordant yellow 30)	8
7	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีแวกซ์	9
8	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีซัลเฟอร์	10
9	สูตรโครงสร้างโมเลกุลสีดิสเพิร์ส (Disperse blue 14)	10
10	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีอะโซอิก	11
11	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	17
12	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	18
13	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	19
14	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว	19
15	การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น	21
16	การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ	22
17	การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	24
18	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน	27
19	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง	28
20	กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$	30
21	ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช	31
22	แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์	31
23	การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว	32
24	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	33
25	การเตรียมเปลือกกะลากาแฟ	40
26	การเตรียมถ่านเปลือกกะลากาแฟ	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	เตาเผาถ่านแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน	41
28	คอลัมน์บรรจุชั้นวัสดุเพาะปลูกโดยเรียงลำดับจากชั้นกรวด, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด และเปลือกกะลาเผาผสมกับดิน	45
29	กระบะปลูกและชั้นของกรวด, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด และเปลือกกะลาเผาผสมดิน	46
30	เปลือกกะลาเผาอบและถ่านเปลือกกะลาเผา	47
31	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเปลือกกะลาเผาอบและถ่านเปลือกกะลาเผา กับ ร้อยละการกำจัดสีย้อมเจือ	49
32	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาเผาอบและถ่านเปลือกกะลาเผา	50
33	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาเผาอบและถ่านเปลือกกะลาเผา	51
34	ความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์กับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาเผาอบและถ่านเปลือกกะลาเผา	52
35	ไอโซเทอร์มการกำจัดสีย้อมของแลงเมียร์ด้วยเปลือกกะลาเผาอบ	54
36	ไอโซเทอร์มการกำจัดสีย้อมของฟรุนดิชด้วยเปลือกกะลาเผาอบ	54
37	ไอโซเทอร์มการกำจัดสีย้อมของแลงเมียร์ด้วยถ่านเปลือกกะลาเผา	55
38	ไอโซเทอร์มการกำจัดสีย้อมของฟรุนดิชด้วยถ่านเปลือกกะลาเผา	55
39	ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดสีย้อมของดินกับปริมาณดิน	56
40	อัตราส่วนเปลือกกะลาเผาต่อดิน กับร้อยละการกำจัดสีย้อม	57
41	เปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาคอยตุ้ง โดยใช้เปลือกกะลาเผาอบและเปลือกกะลาเผาอบผสมกับดินนาเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูก โดยทำการทดลองแบบเบดซ์	58
42	ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมจากเปลือกกะลาเผาอบผสมกับดินนาในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยวิธีการไหลต่อเนื่อง	60
43	ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากเปลือกกะลาเผาอบผสมกับดินนา ในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โดยวิธีการไหลต่อเนื่อง	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
44	กระเบปปลูกต้นรูปถ่ายและต้นกกกลม	62
45	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กบำบัดสีข้อม ในกระเบปปลูกรูปถ่าย	62
46	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กบำบัดสีข้อม ในกระเบปปลูกกกกลม	63
ภาพผนวกที่		
1	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีข้อมผสมที่ความยาวคลื่น 546 นาโนเมตร	76
2	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีข้อมผสมที่ความยาวคลื่น 588 นาโนเมตร	76
3	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีข้อมผสมที่ความยาวคลื่น 616 นาโนเมตร	77
4	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีข้อมผสมที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร	77
5	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีข้อมผสมที่ความยาวคลื่น 666 นาโนเมตร	78

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BOD (บีโอดี)	=	Biochemical Oxygen Demand (ความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งโดยวิธีทางชีวภาพ)
COD (ซีโอดี)	=	Chemical Oxygen Demand (ความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งโดยวิธีทางเคมี)
pH (พีเอช)	=	ค่าความเป็นกรด-เบส
TDS	=	Total Dissolved Solids (ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ)
TS	=	Total solids (ของแข็งทั้งหมด)
TSS	=	Total suspended solids (ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด)

**การกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โดยใช้เปลือกกะลากาแฟผสมกับดิน
เพื่อเป็นวัสดุเพาะปลูกสำหรับต้นกกกกลมและต้นธูปฤาษี**

**Dyes Removal in Textile Wastewater by Using Coffee Endocarp Residual in Mixed
with Soil as Growing Materails for Umbrella and Cattail Plants**

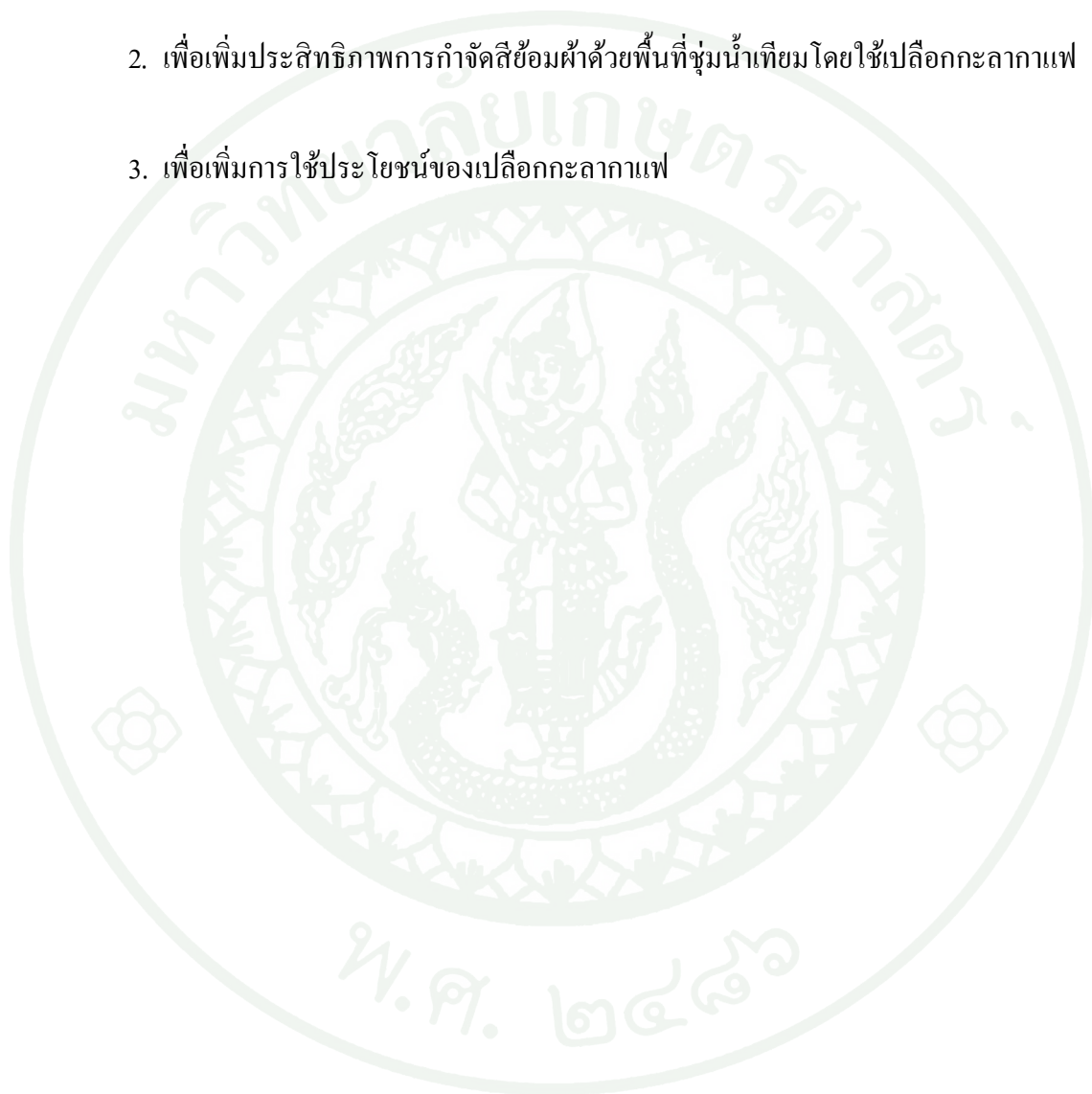
คำนำ

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณสูง โดยเฉพาะสีย้อม ซึ่งสีย้อมเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่และถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก ดังนั้นจึงก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เนื่องจากสีย้อมบดบังแสงอาทิตย์ที่ต้องผ่านลงสู่ใต้น้ำ ซึ่งจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำที่เป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในน้ำอีกหลายชนิด ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย และนอกจากนี้ยังเป็นการทำลายทัศนียภาพอีกด้วย

เปลือกกะลากาแฟ เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟในโครงการพัฒนา ดอยตุง ซึ่งมีปริมาณมากและต้องได้รับการกำจัด แต่การกำจัดเปลือกกะลากาแฟโดยการเผา จะเป็นการกำจัดทิ้งไปอย่างสูญเปล่า อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมลพิษทางอากาศให้เพิ่มสูงขึ้น ผู้ทำการวิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าว ดังนั้นหากนำเปลือกกะลากาแฟที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโครงการพัฒนา ดอยตุงมากำจัดสีย้อมที่เกิดขึ้นจากโครงการพัฒนา ดอยตุงเช่นกัน จะทำให้เป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับเปลือกกะลากาแฟให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากจะเป็นการช่วยกำจัดสีย้อมที่ปะปนอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติแล้ว ยังช่วยลดปริมาณเปลือกกะลากาแฟอีกด้วย เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งของโครงการนำมาเป็นประโยชน์กลับคืนสู่โครงการเอง โดยการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลากาแฟนั้น จะนำมาผสมกับดินเป็นวัสดุปลูกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยจะแบ่งการศึกษาเปลือกกะลากาแฟออกเป็นแบบอบและแบบถ่าน โดยจะทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของเปลือกกะลากาแฟ และนำมาใช้ร่วมกับพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยงานวิจัยจะมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด อัตราส่วนของวัสดุปลูกผสมกับดินร่วมกับการปลูกต้นกกกกลมและต้นธูปฤาษี เพื่อนำกลับมาหมุนเวียนใช้เป็นวัสดุปลูกต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าที่เตรียมจากเปลือกกะลากาแฟ
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยใช้เปลือกกะลากาแฟ
3. เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ของเปลือกกะลากาแฟ



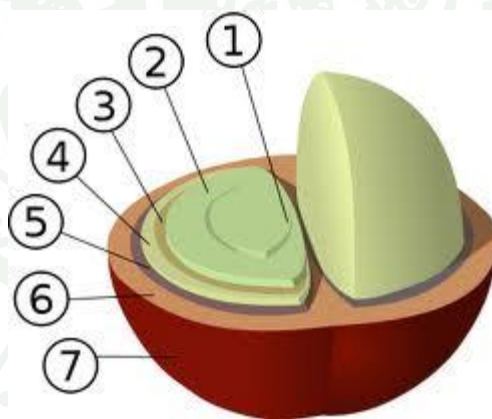
การตรวจเอกสาร

1. กาแฟ

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเมล็ดกาแฟ

ชื่อไทย	: กาแฟ
ชื่อสามัญ	: Kofi, coffee, Brazilian coffee, Arabian coffee
ชื่อวิทยาศาสตร์	: <i>Coffea Arabica</i> L.
ชื่อวงศ์	: RUBIACEAE

กาแฟมีลักษณะเป็นไม้พุ่ม สูง 2-4 เมตร ใบเดี่ยวจะจัดเรียงตรงข้าม รูปขอบขนาน กว้าง 8-12 เซนติเมตร ยาว 15-20 เซนติเมตร ฐานใบอยู่ระหว่างก้านใบ ดอกช่อออกที่ซอกใบ กลีบดอกสีขาว ติดกันเป็นหลอด มีกลิ่นหอม ผลเป็นผลสด รูปไข่แกมทรงกลม เมื่อสุกจะมีสีแดง และส่วนประกอบของเมล็ดมีดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆของเมล็ดกาแฟ

1.1 Bean คือ เมล็ดกาแฟที่มีลักษณะสีฟ้าอมเขียว โดยปกติในผลหนึ่งลูกจะมีเมล็ดกาแฟ 2 เมล็ด ถ้ามีเมล็ดเดียวจะเป็นเมล็ดกาแฟที่เรียกว่า Peaberry จะมีประมาณ 5-10% ของผลผลิต จะมีลักษณะเป็นเมล็ดกลมๆ

1.2 Friut คือ เนื้อผลมีรสชาติหวานคล้ายเนื้อองุ่น

1.3 Siverskin คือ เยื่อหุ้มสีเงิน เยื่อบางๆ ที่ห่อหุ้มเมล็ดกาแฟ

1.4 Parchment (Endocarp) คือ แผ่นเปลือกบางๆ ที่ห่อหุ้มปกป้องเมล็ดด้านใน

1.5 Pectin Layer คือ ชั้นของเมือกที่ห่อหุ้มเมล็ดกาแฟ

1.6 Pulp (Mesocarp) คือ เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อบางๆ คล้ายน้ำผึ้งหุ้มอยู่

1.7 Outer Skin (Exocarp) คือ ส่วนที่เป็นเปลือกผลกาแฟ จะมีเปลือกหนาและขมเล็กน้อย

กาแฟเป็นพืชประเภทไม้พุ่มเจริญเติบโตได้ดีในที่สูงอากาศชื้น เป็นพืชที่ขึ้นตามป่าธรรมชาติมาก่อนที่มนุษย์จะมีการนำออกมาจากป่าซึ่งเป็นพืชทางการค้าหรือพืชเศรษฐกิจ กาแฟเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดมาจากแถบแอฟริกา อาระเบียหรือประเทศเอธิโอเปียในปัจจุบัน และมีการขยายพันธุ์ออกไปทั่วโลกในปัจจุบัน รวมถึงมีการปรับปรุงสายพันธุ์อย่างต่อเนื่อง กาแฟที่มีชื่อเสียงโด่งดังและได้รับความนิยมส่วนใหญ่มีอยู่ด้วยกัน 3 สายพันธุ์ คือ 1) โรบัสต้า (Robusta) 2) อะราบิก้า (Arabica) 3) ไลเบลิกา (Libelica)

ประเทศไทยมีการผลิตกาแฟอยู่ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์โรบัสต้า (Robusta coffee) เพาะปลูกมากในแถบจังหวัดทางภาคใต้ของประเทศ ได้แก่ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ และนครศรีธรรมราช คิดเป็นปริมาณปีละประมาณ 80,000 ตัน และพันธุ์อะราบิก้า (Arabica coffee) เพาะปลูกมากในแถบจังหวัดทางภาคเหนือของประเทศ ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน และตาก เป็นพื้นที่ที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลและอากาศเย็น คิดเป็นปริมาณปีละประมาณ 500 ตัน โคนกระบวนการผลิตกาแฟก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นเปลือกชั้นนอกเมล็ดกาแฟ เปลือกชั้นในเมล็ดกาแฟ และกากกาแฟ ที่จะถูกกำจัดทิ้งโดยการเผา ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและสิ่งแวดล้อม

2. สีย้อม

สีย้อมเป็นสารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหิน เมื่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหินผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซีน ไชลีน แอนทราซีน โทลูอิน แนพทาลิน และพาราฟิน ซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่าง ๆ สีย้อมเป็นสารที่ละลายน้ำได้ หรือสามารถทำให้ละลายน้ำได้ คิดค้นเส้นใยได้ สีย้อมที่ผลิตขึ้นมามีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป การนำสีย้อมมาใช้ให้ได้ผลดี ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าการรวมตัวของสีกับน้ำ โดยจะต้องทำให้เกิดสถานะที่โมเลกุลของสีย้อมจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใย แล้วเกิดพันธะยึดติดกันแน่น

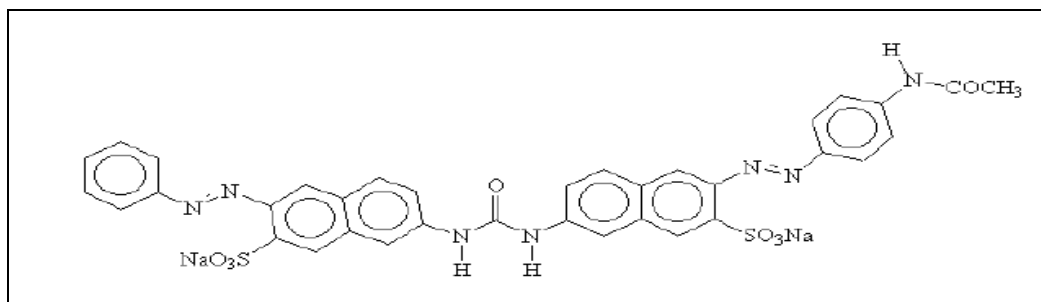
อิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิดที่ทำให้สีดูดติดเส้นใย คือ พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals' Force) แรงไอออน (Ionic Force) และพันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใย อย่างน้อยต้องประกอบไปด้วย 2 ชนิดขึ้นไปบางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสาน และแรงที่ยึดติดทางเคมีที่ดีที่สุดคือ พันธะโควาเลนต์

การจำแนกสีย้อมที่นิยมมากที่สุด คือ การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งานนี้ทำให้มีความสะดวกกับผู้ใช้งานในทางปฏิบัติ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทางสมาคมผู้ย้อมและผู้ผลิตสีย้อม (The Society of Dyes and Colourists) เห็นด้วยและยอมรับวิธีจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งานมาใช้ในการจำแนกสีย้อมโดยทั่วไป ดังนี้

2.1 สีย้อมตรง (Direct Dye)

สีย้อมตรงเป็นสีที่ละลายน้ำได้ ย้อมจากน้ำที่ละลายสีโดยตรงให้ซึมเข้าไปภายในเส้นใย เซลลูโลส สามารถย้อมผ้าได้ทันทีไม่ต้องย้อมผ้าด้วยสารช่วยติดเหมือนกับสีตัวอื่นๆจึงเรียกว่า สีย้อมตรงหรือสีย้อมโดยตรง สีย้อมชนิดนี้บางครั้งเรียกว่า สีย้อมฝ้าย ซึ่งชื่อนี้มาจากการที่สีย้อมชนิดนี้สามารถย้อมติดเส้นใยฝ้ายได้โดยไม่ต้องใช้สารช่วยย้อมใด ๆ แต่ในปัจจุบันการย้อมสีย้อมตรงจะใช้เกลือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้ดียิ่งขึ้น สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคซึ่งทำให้สีละลายน้ำได้ มีประจุลบดังภาพที่ 2 นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสเนื่องจากสีจะติดเส้นใยได้ด้วยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีย้อมชนิดนี้มีโทนสี คุณสมบัติในการย้อม ความคงทน ตลอดจน

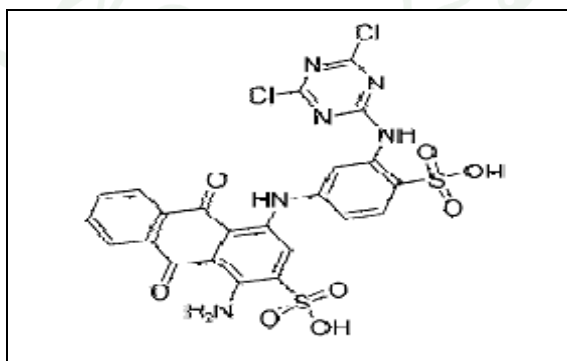
ราคาที่แตกต่างกันมาก ซึ่งถ้าเป็นสีที่มีความคงทนในการย้อมดี โครงสร้างก็จะซับซ้อนมากขึ้น ราคา ก็จะแพงมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีแดงที่ 1

2.2 สีรีแอกทีฟ (Reactive Dye)

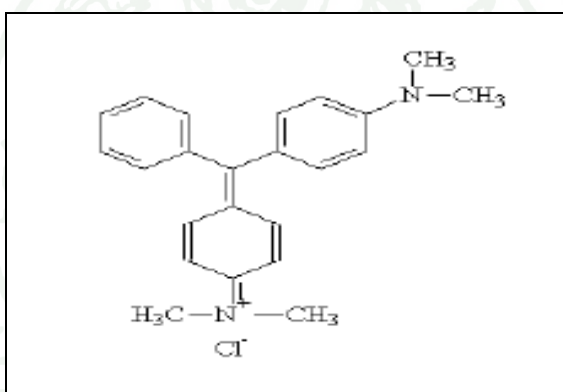
สีรีแอกทีฟเป็นสีที่ละลายน้ำได้ เป็นสีย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ดีที่สุดมีคุณสมบัติเป็น แอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่างโมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH⁻) ใน เซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโคเวเลนต์กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับ เซลลูโลส คุณสมบัติในการละลายและการดูดซับของตัวสีทำให้สีนี้เข้าไปอยู่ภายในเส้นใย เมื่อเกิดปฏิกิริยาตัวสีจะยึดติดเส้นใย สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70 – 75 องศาเซลเซียส และ (2) กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอกทีฟจะให้สีที่สดใสและสีจะติดทนใน ทุกสภาวะ เนื่องจากสีรีแอกทีฟ มีขนาดโมเลกุลค่อนข้างเล็กจึงทำให้สีแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้ดี อีกทั้งยังมีความคงทนต่อแสงและการซักได้ดี



ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีรีแอกทีฟ (Reactive Blue 4)

2.3 สีเบสิก (Basic Dye)

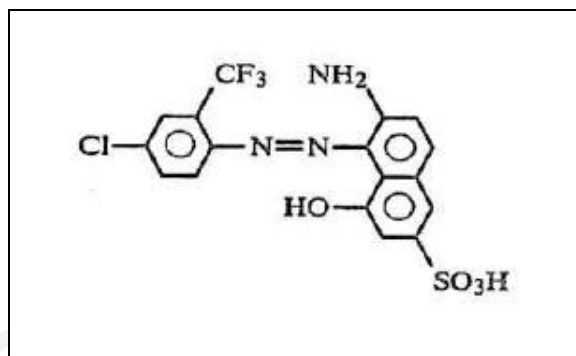
สีเบสิกเป็นสีของเบสอินทรีย์ (Organic Base) ละลายน้ำได้ ตัวสีย้อมเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ให้แคโทไอออน (Cation) บางครั้งจึงเรียกสีย้อมชนิดนี้ว่า สีแคโทไอออน (Cationic Dye) สามารถย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของสีจะจับกับประจุลบของเส้นใย สีประเภทนี้มีความคงทนต่ำ นิยมใช้กันในประเทศแถบตะวันออก ที่นิยมความสดใสของสีมากกว่าความคงทนของสี สามารถใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิกได้ ใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด แต่ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่ติดเลย ตัวสีย้อมเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ให้แคโทไอออน (Cation) บางครั้งจึงเรียกสีย้อมชนิดนี้ว่า สีแคโทไอออน สามารถย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของสีจะจับกับประจุลบของเส้นใย สีย้อมกลุ่มนี้มักมีหมู่เอมีน (Amine Group) ในโมเลกุล



ภาพที่ 4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีเบสิก

2.4 สีแอซิด (Acid dye)

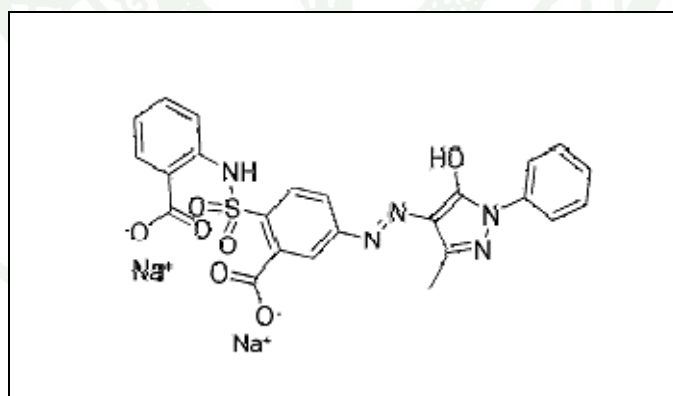
สีแอซิดหรือสีกรดเกือบทุกตัวเป็นเกลือโซเดียมของกรดอินทรีย์ มีแอนไอออนในส่วนประกอบที่ให้สี สีในกลุ่มนี้ต้องย้อมในน้ำที่มีสภาวะเป็นกรด สีแอซิดดูดความชื้นจากอากาศได้ ง่ายการเก็บและเข้าหีบห่อต้องระมัดระวังเป็นอย่างดีถ้าสีดูดความชื้นเข้าไปจะเสื่อมสภาพเร็ว ตัวสีสามารถดูดติด (Affinity) เส้นใยโปรตีนโดยตรง ผลิตขึ้นเพื่อใช้ย้อมเส้นใยขนสัตว์และไหม สำหรับการเกาะติดของสีย้อมประเภทนี้ในเส้นใยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนโมเลกุลของสีกับประจุบวกบนโมเลกุลของเส้นใย และสีกลุ่มนี้มักมี กลุ่มซัลโฟนิค (Sulfonic groups) ซึ่งเป็นตัวให้ประจุลบในน้ำ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีแอซิด (Acid red 266)

2.5 สีมอร์แดนต์ (Mordant Dye)

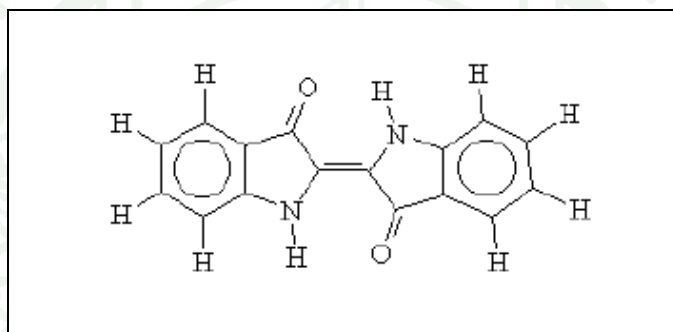
สีมอร์แดนต์ หรือ สีโครม เป็นสีที่มีโครงสร้างเคมี เหมือนกับ สีเอซิดมาก เพียงแต่จะมีกลุ่มเคมีซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับโครเมียมเป็นสารประกอบ Co-ordinate ที่ถาวรได้เพิ่มขึ้น สารประกอบ Co-ordinate ใหม่ นี้ จะดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า จึงทำให้มีความคงทนต่อแสงและน้ำเพิ่มขึ้น สีมอร์แดนต์มีคุณสมบัติในการย้อมเหมือนกับสีแอซิด แต่จะใช้เป็นสีเอซิดไม่ได้ เพราะว่าถ้ายังไม่ได้ให้ตัวสีทำปฏิกิริยากับโครเมียมสีจะไม่ทนต่อค่า สีนํ้าใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน



ภาพที่ 6 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีมอร์แดนต์ (Mordant yellow 30)

2.6 สีแ้วต (Vat Dye)

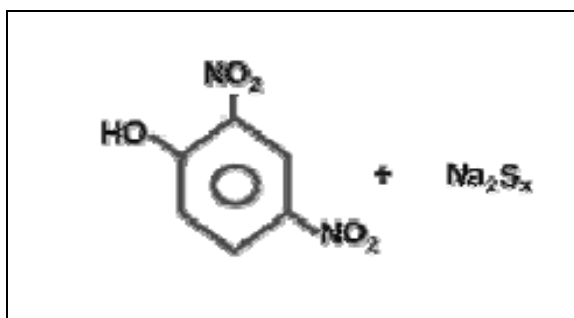
สีแ้วตได้ชื่อมาจากที่ตัวสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ มีกลุ่มคีโตน (Keto group) ดังภาพที่ 7 สีแ้วตมักใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะเส้นใยฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำต้องใช้สารที่เหมาะสมรีดิวซ์ ทำให้สีชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ เช่นเดียวกับสีซัลเฟอร์ สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้กันคือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ สีย้อมเมื่อรีดิวซ์แล้วจะให้สารประกอบลิวโค (Leuco compound) ซึ่งมีสีครามและมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเมื่อนำเส้นใยไปสัมผัสกับอากาศสารประกอบลิวโคจะถูกออกซิไดส์กลับไปเป็นภาพที่ไม่ละลายน้ำทำให้ติดทนถาวรกับเส้นใย สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือ สีครามอินดิโก (Indigo) และสีอะมิโนแอนทราควิโนน (Aminoanthraquinone)



ภาพที่ 7 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีแ้วต

2.7 สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dye)

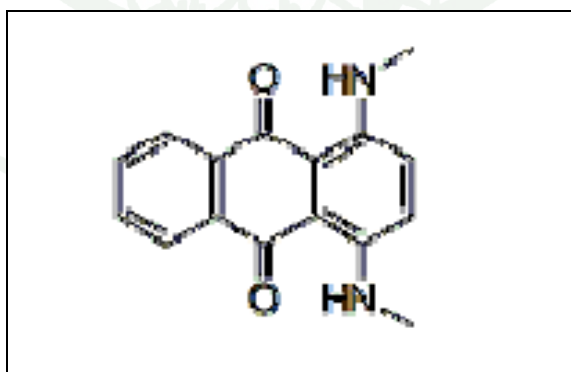
สีซัลเฟอร์ เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในส่วนที่เป็นโครโมฟอร์และส่วนของสายโซ่พอลิซัลไฟด์ ดังภาพที่ 8 สีชนิดนี้ย้อมง่ายมีราคาถูก ความคงทนต่อน้ำดี ใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายโดยเฉพาะ มีราคาก่อนข้างถูก สีที่ย้อมได้ไม่ค่อยสดใส ปกติแล้วสีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ในปัจจุบันผู้ผลิตได้ทำการผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่โดยนำตัวสีย้อมไปรีดิวซ์ ทำให้สีชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ การที่สีย้อมชนิดนี้ถูกเรียกว่า สีซัลเฟอร์ ก็เพราะว่าสารที่จะนำรีดิวซ์เป็นสารละลายของโซเดียมซัลไฟด์และโครโมฟอร์ของสีย้อมซัลเฟอร์ประกอบไปด้วยหมู่ซัลโฟนิค (Sulfonic group) สีย้อมชนิดนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยแล้วสามารถยึดติดกับเส้นใยได้อย่างถาวรได้ โดยการออกซิไดส์สีกลับคืนสู่รูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำด้วยการทำปฏิกิริยากับอากาศ (Air oxidation)



ภาพที่ 8 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีซัลเฟอร์

2.8 สีดิสเพิร์ส (Disperse Dye)

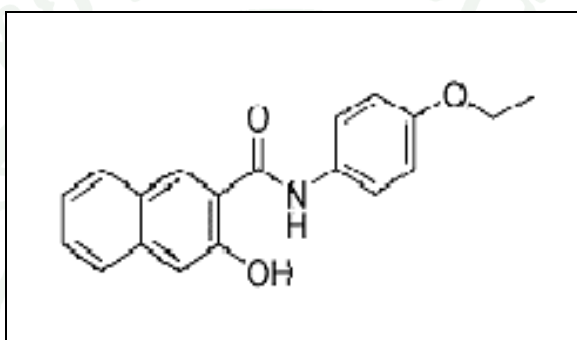
สีชนิดนี้ใช้ย้อมเส้นใยอะซิเตทหรือเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซึมน้ำได้น้อย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่มีลักษณะเป็นตะอองละเอียดลอยตัวอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารที่ช่วยกระจาย (Dispersing agent) ที่เหมาะสมมาช่วยจะสามารถใช้ย้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารอย่างอื่นช่วย นอกจากสารพา (Carrier) ที่จะช่วยให้สีเข้าไปใกล้เส้นใยได้มากขึ้นเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ สีดิสเพิร์สอาจแบ่งได้อีกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามลักษณะส่วนประกอบทางเคมีได้แก่สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมอะมิโนแอนทราควิโนน (Aminoanthraquinone) ซึ่งสีทั้ง 2 กลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (Ethanalanine) : $\text{-NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน ดังภาพที่ 9 ทั้งนี้ สีดิสเพิร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควั่นหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรสออกไซด์ เป็นต้น



ภาพที่ 9 สูตรโครงสร้างโมเลกุลสีดิสเพิร์ส (Disperse blue 14)

2.9 สีอะโซอิก (Azoic Dye)

สีในกลุ่มนี้เป็นสารประกอบอะโซ (Azo) แต่ตัวสีไม่ละลายน้ำ ก่อรูปเป็นสีบนเส้นใยได้ โดยการย้อมด้วยสารประกอบฟีนอล ซึ่งละลายน้ำได้ก่อนแล้วจึงนำมาย้อมทับอีกครั้งด้วยเกลือไดอะโซเนียม (Diazonium salt) เกลื่อนี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล เกิดเป็นสารประกอบอะโซ ที่ให้สีบนเส้นใย ที่มีสูตรโครงสร้างของสีอะโซอิกดังภาพที่ 10 สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส และไนลอน สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซักแต่ไม่ทนต่อการขจัด



ภาพที่ 10 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสีอะโซอิก

2.10 สีเมทัลคอมเพล็กซ์ (Metal complex dye)

สีชนิดนี้เดิมเป็นสีมอร์แดนต์ เมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับเกลือของโลหะจะได้สารประกอบที่ให้สีชนิดใหม่ นิยมใช้เกลือของโครเมียมมาทำปฏิกิริยาสีเมทัลคอมเพล็กซ์สามารถแยกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของน้ำย้อม ได้แก่

2.10.1 สีเมทัลคอมเพล็กซ์ในน้ำย้อมที่เป็นกรด

2.10.2 สีเมทัลคอมเพล็กซ์ในน้ำย้อมที่เป็นกลางสีชนิดนี้ถ้ามีเกลืออนินทรีย์ในน้ำจะทำให้ละลายน้ำได้ไม่ดี ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำค่อนข้างบริสุทธิ์ ไม่มีเกลือแร่ปนอยู่

ตารางที่ 1 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน

ประเภท สีย้อม	สมบัติทาง กายภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม กับสีย้อม	พันธะหรือกลไก การติดสี	วิธีการใช้
สีไคเร็กต์ (Direct dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีดัดไม่แน่นอน	- ฝ้าย - วิสกอต	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลาย ค้างอ่อน - เดิมอิเล็กโตรไลต์โซเดียม กลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต แล้วย้อม - เดิมสีย้อมแล้วเพิ่ม อุณหภูมิให้ได้ 100 – 105 องศาเซลเซียส
สีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีดัดแน่น	- ฝ้าย - ขนสัตว์ - วิสกอต	- พันธะโควาเลนต์	- แช่เส้นใยในสารละลาย กรด - เดิมเกลือเพื่อกระจายสีสู่ เส้นใย - เดิมค้างเพื่อให้ เกิดปฏิกิริยาระหว่างสีกับ เส้นใย
สีเอซิก (Acid Dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีดัดไม่แน่นอน	- ขนสัตว์ - ไนลอน	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายพี เอช 3-5 - เส้นใยซึ่งสมมติว่ามี ประจุบวกติดกับสีย้อมที่ ประจุลบอุณหภูมิให้ได้ 100 – 105 องศาเซลเซียส
สีมอร์แดนท์ (Mordant Dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีดัดแน่น	- ขนสัตว์	- คอลลอยด์ของสี ย้อมติดผิว เส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลาย กรด - เดิมโซเดียมไดโครเมต และสีย้อม - เพิ่มอุณหภูมิถึง 98 องศา เซลเซียส

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเภท สีย้อม	สมบัติทางกายภาพ และเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม กับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการ ติดสี	วิธีการใช้
สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes)	- เป็นคอลลอยด์ หลังเกิดปฏิกิริยาใน น้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสกอส	- ปฏิกิริยา ตกตะกอนผลึก ภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมใน สารละลายต่างที่มี โซเดียม ซัลเฟอร์ - สีย้อมแพร่กระจายสู่เส้น ใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีอะโซอิก (Azoic Dyes)	- เป็นคอลลอยด์ หลังเกิดปฏิกิริยาใน น้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสกอส	- ปฏิกิริยา ตกตะกอนผลึก ภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมใน สารละลายต่างที่มี โซเดียม ซัลเฟอร์ - สีย้อมแพร่กระจายสู่เส้น ใยด้วยอิเล็กโตรไลต์ - ต้มเพื่อให้เกิดตะกอน ผลึก
สีเมทัลคอม เพล็กซ์แอซิด (Metal complexacid Dyes)	- กระจุลบ - ละลายน้ำน้อย - สีติดแน่นดี	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลาย พีเอช 5-7 - เส้นใยซึ่งสมมติว่ามี ประจุบวกติดกับสีย้อมที่ มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50 – 110 องศาเซลเซียส

ที่มา: Buckley (1992)

3. ผลกระทบของสีย้อมที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของสีย้อมต่อสิ่งแวดล้อม หรือสมบัติด้านมลพิษของสีย้อมนั้น พบว่า สีย้อมเป็นสารที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ แต่ความเป็นพิษต่อปลาค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญของสีย้อมในน้ำเสีย ปัจจุบันมิได้อยู่ที่ความเป็นพิษของสีย้อม แต่อยู่ที่สีของน้ำเสียเนื่องจากสีย้อมเป็นสารที่มีสีเข้ม ดังนั้นแม้มีสีอยู่ในน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้น้ำมีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็นได้ จึงต้องมีการกำจัดสีของน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

3.1 สารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถทำความสะอาดด้วยตัวเอง (Self Purification) ได้ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาแอนแอโรบิก (Anaerobic) และทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นทำประโยชน์ได้ สารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในกรณีที่ได้รับสารโดยตรงจากการบริโภคสัตว์น้ำ นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้ยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศ หากสารนั้นเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก

3.2 ค่าความเป็นด่าง จะทำให้น้ำเสียที่มีค่าพีเอชสูง ๆ ซึ่งเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงแล้ว จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง คือในช่วงพีเอช 6-9

3.3 อุณหภูมิของน้ำเสียที่สูง จะมีผลทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง

3.4 ปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด อาจทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคที่ร้ายแรงได้ และทำให้ไม่สามารถใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้

3.5 สี ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีของแหล่งน้ำ และทำให้ปริมาณแสงที่จะส่งผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

3.6 โลหะหนัก (Heavy Metals) ทำให้เกิดโรคที่ร้ายแรงในสัตว์น้ำ และยังสะสมอยู่ในระบบนิเวศ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมทั้งมนุษย์ด้วย

3.7 สารแขวนลอย จะเพิ่มสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ สามารถตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ทำให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศและทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำด้วย

4. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นที่ระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นที่ระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นที่ระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับเพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ (Landfill) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

4.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

4.1.1 การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าสู่ตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

4.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (Internal Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าสู่ช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

4.1.3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวด้วย

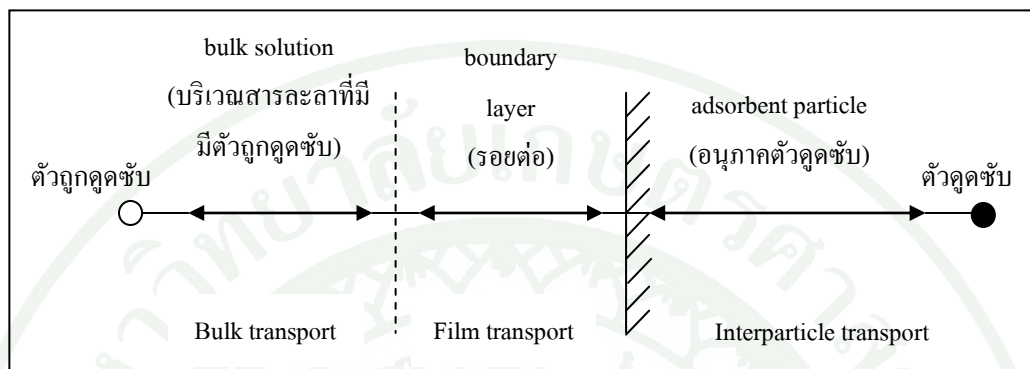
4.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวดูดซับ

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

4.2.1 การขนส่งอนุภาค (Bulk Transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

4.2.2 การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกละลายแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง

4.2.3 การขนส่งภายในอนุภาค (Interparticle Transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

การยึดติดของตัวดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบ

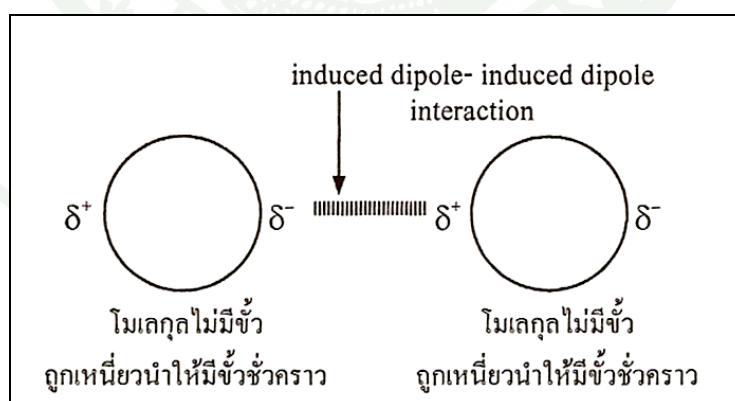
4.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (Intermolecular Force)

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกละลายบนผิวของตัวดูดซับนั้น อาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพ (Physical Force) หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางเคมี (Chemical Force) หรือในบางกรณีอาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองแบบ

4.3.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพที่เกี่ยวกับตัวดูดซับ ได้แก่ แรงแวน-เดอร์วาลส์ (Van der Waal force) คือ แรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โควาเลนต์) ให้อยู่ด้วยกัน โดยโมเลกุล (โควาเลนต์) ทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้ว และ โมเลกุลไม่มีขั้ว ต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์จะเพิ่มขึ้น แรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

(1) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ซึ่งเรียกว่า แรงลอนดอน (London Force) หรือแรงแผ่กระจาย (Dispersion Force) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาในขณะใดขณะหนึ่ง กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในลักษณะที่สมมาตร แต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากขึ้นกว่าปกติ อีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวก หรือกล่าวได้ว่า ทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วชั่วคราว (Induce dipole) ขึ้น ขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นนี้ จะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียงมีขั้วขึ้นมา ถ้าโมเลกุลมีขั้วหันขั้วบวกไปทางโมเลกุลใดก็จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลนั้นเกิดขั้วลบขึ้นทางด้านที่ติดกัน โดยวิธีนี้ โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำกันต่อไปจนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (Induced dipole-induced dipole attraction)

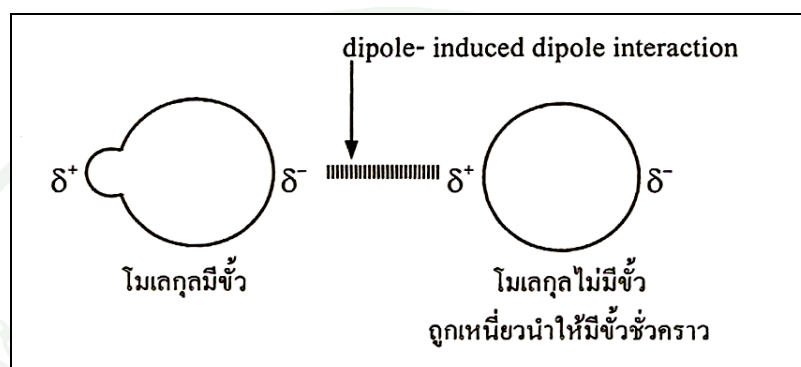
แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล เพราะเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออิเล็กตรอนจำนวนมากไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบมาก และด้านตรงข้ามก็จะมีอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกมากด้วย แรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากจำนวนอิเล็กตรอนในโมเลกุลแล้วรูปร่างของโมเลกุลก็มีส่วนที่จะทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์มีความแข็งแรงมากหรือน้อย เป็นต้นว่า ถ้าโมเลกุลไม่ซับซ้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย การเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วของโมเลกุลจึงเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าโมเลกุลมีรูปร่างซับซ้อน อิเล็กตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำจะเกิดการบดบังกัน สภาพขั้วจึงน้อย ทำให้แรงดึงดูดน้อยตามไปด้วย



ภาพที่ 12 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

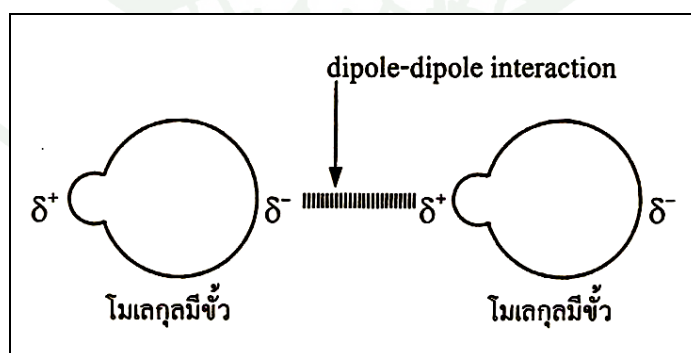
(2) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (Intermolecular Force) 2) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลไม่มีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (Dipole-induced dipole attraction) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

(3) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าลบ ขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบ จึงดึงดูดกัน (Dipole-dipole attraction) ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ในกรณีที่โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของธาตุอื่นที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ได้แก่ ธาตุฟลูออรีน ออกซิเจน และไนโตรเจน ทำให้เกิดพันธะสภาพมีขั้วสูง โดยด้านไฮโดรเจนอะตอมมีสภาพขั้วบวกจึงเกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงในโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)

แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่ไม่แข็งแรงนักเมื่อเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น การทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของคลอรีน (Cl_2) 1 โมล ใช้พลังงาน 25 กิโลจูล แต่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำลายพันธะ Cl-Cl ในโมเลกุลคลอรีนมีค่าถึง 244 กิโลจูล/โมล ความแข็งแรงของแรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าระหว่าง 0.01-0.1 ของพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพ สามารถผันกลับคือ เกิดการคายหรือเกิดการคายสารออก (Desorption) อันเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว (แรงแวนเดอร์วาลส์) ที่ไม่แข็งแรงระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

4.3.2 แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี คือ การสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโควาเลนต์ การใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยเกิดสมดุลทั้งแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และโปรตอนกับโปรตอน)

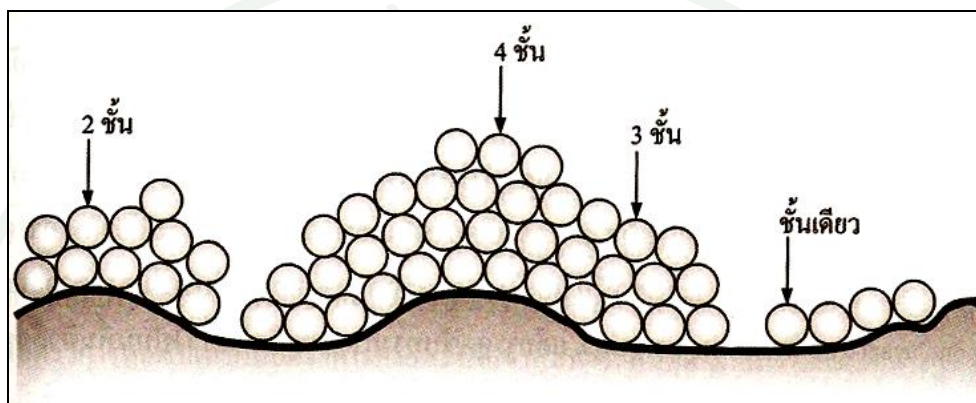
การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้น และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayered) ทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible process) จึงไม่เกิดการคาย

4.4 รูปแบบของการดูดซับ

สำหรับรูปแบบของการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

4.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption หรือ Physical adsorption van der Waals adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะ หรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่พื้นผิวหน้าของตัวดูดซับ จัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่ บนผิวตัวดูดซับใน

ลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (Multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกซับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

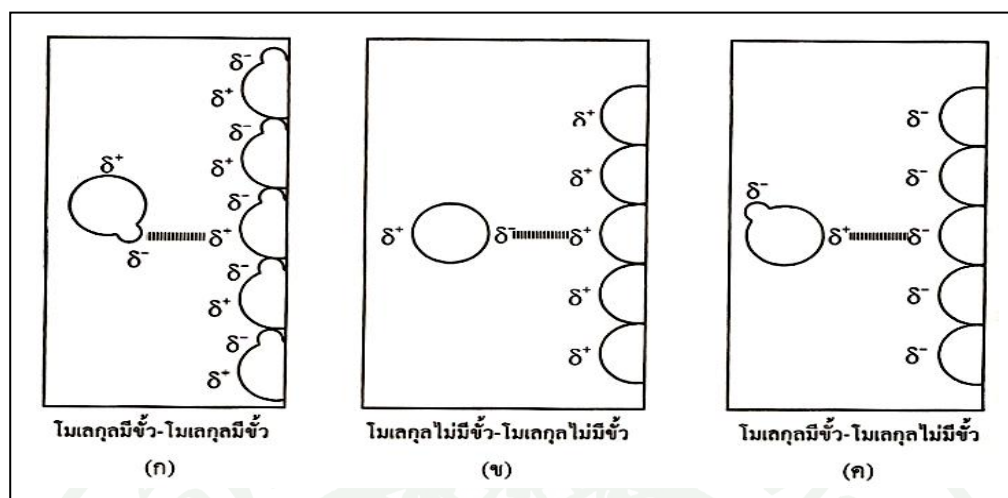


ภาพที่ 15 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

4.4.2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) จะมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (สร้างพันธะไอออนิก) หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (สร้างพันธะโควาเลนต์) ทำแรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพที่สามารถจะเกิดการผันกลับได้ภายใต้สภาวะเดียวกัน การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณจำเพาะเจาะจงเท่านั้น และโมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บริเวณดังกล่าว จะเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer) และเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำ ประมาณ 10 หรือน้อยกว่า 10 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูง โดยประมาณ 20-100 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ (นิพนธ์ และคณิตา (2550) อ้างถึง Maron and Prutton (1961))



ภาพที่ 16 การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ

หมายเหตุ ภาพ (ก) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็น

โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่

ภาพ (ข) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็น

โมเลกุลไม่มีขั้วทั้งคู่

ภาพ (ค) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเป็น โมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลตัวดูดซับเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

4.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

4.5.1 อัตราการปั่นกววน เพื่อให้มีการดูดติดผิวอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านฟิล์ม หรือการแพร่เข้าสู่โพรง ถ้าอัตราการปั่นกววนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดติดผิวจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวเข้าไปหาสารดูดติดผิว ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในตรงกันข้าม ถ้าอัตราการปั่นกววนสูง จะเกิดฟิล์มบางทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาสารดูดติดผิวได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดติดผิว

4.5.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่า คาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon, GAC)

4.5.3 ขนาดและลักษณะของสารดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอร์ (พอร์เข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้ เพราะแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับและสารดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง

4.5.4 ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดซับได้ดี

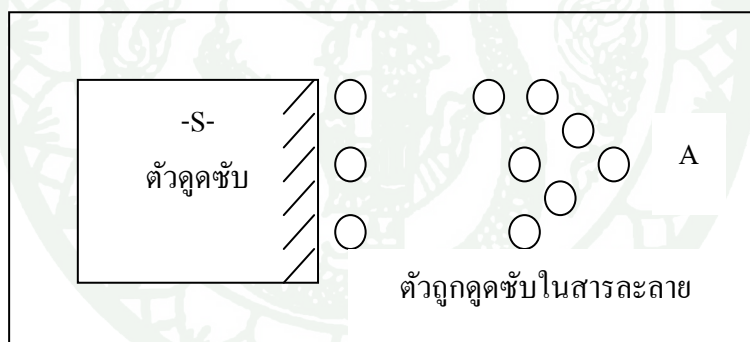
4.5.5 พิเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของสารดูดซับได้ดี

4.5.6 อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบกระบวนการคายความร้อน

4.5.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิว และอายุการใช้งานของถังดูดติดผิว โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดติดผิวเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่ผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวเลย

4.6 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในการละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้น ในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออกมา พบว่าอัตราการคายจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายออกมามีปริมาณคงที่



ภาพที่ 17 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

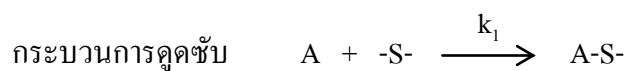
ที่มา: นิพนธ์ และกนิดา (2550)

ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 โมล/ลิตรในการละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

q เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

(1-q) เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ



r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วน โมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

k_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

$$r_1 = k_1 [C](1-q)$$



r_2 แทนอัตราการคาย ซึ่งจะแปรตามสัดส่วน โมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

k_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

$$r_2 = k_2 (q)$$

ณ สภาวะสมดุล $r_1 = r_2$

$$k_1 [C](1-q) = k_2 (q)$$

$$\frac{q}{1-q} = \frac{k_1}{k_2} [C] = K[C]$$

$$q = \frac{K[C]}{1 + K[C]} \quad (1)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ



ณ สภาวะสมดุล $K = \frac{q}{C}$ (2)

ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่า

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

$$qW = V(C_i - C_e) \quad (3)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ หน่วยเป็นปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเป็น โมลต่อกิโลกรัม (mol/kg) หรือ โมลต่อกรัม (mol/g)

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม (mg) กรัม (g) หรือ กิโลกรัม (kg)

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วยเป็นลูกบาศก์ เซนติเมตร หรือลิตร

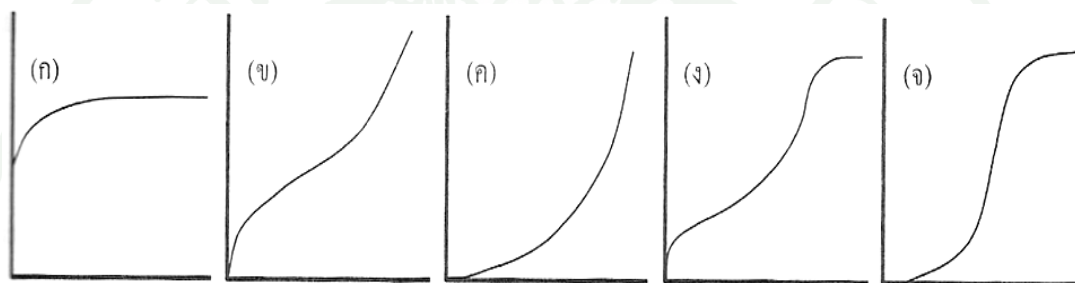
C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลายหน่วยเป็น ความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตร (mol/l)

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตร (mol/l)

4.7 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือน้อยอยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่

ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า q ในแกนตั้ง และค่า C ในแกนนอนจะให้รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550) อ้างถึง Maron and Prutton (1961)

จากภาพที่ 18 รูป (ก) จัดเป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

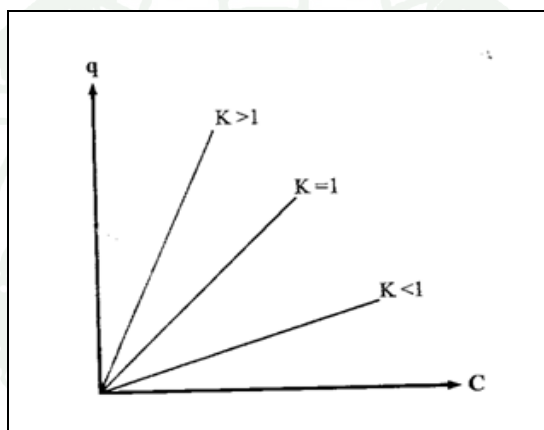
สมการไอโซเทอร์มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ในที่นี้จะกล่าวถึง 3 สมการ ดังนี้

4.7.1 สมการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear Equation) จัดเป็นสมการเชิงเส้นระหว่างค่า q และ C ตามสมการที่ (2)

$$K = \frac{q}{C}$$

$$q = KC$$

จะเห็นว่าปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ จะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายในสถานะสมดุล โดยกำหนดว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีบริเวณให้ถูกดูดซับแบบไม่จำกัดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแบบแรงแวนเดอร์วาลส์ ใช้ได้ดีกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่ำ



ภาพที่ 19 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

$K > 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้มากกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K < 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K = 1$ แสดงว่าการดูดซับอยู่ในสถานะสมดุล

4.7.2 สมการการดูดซับของฟรุนดิช (Freundlich adsorption isotherm) ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่

ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous adsorption surface) พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer)

$$q = KC^{1/n} \quad (4)$$

K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรอนด์ลิช (freundlich constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับ โดยทั่วไป $1/n$ จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการที่ (4) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad (5)$$

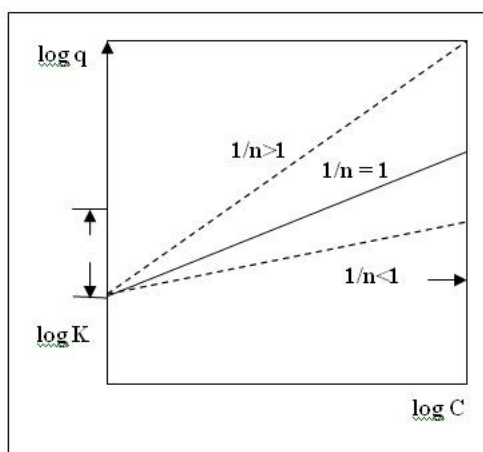
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นที่สถานะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$



ภาพที่ 20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

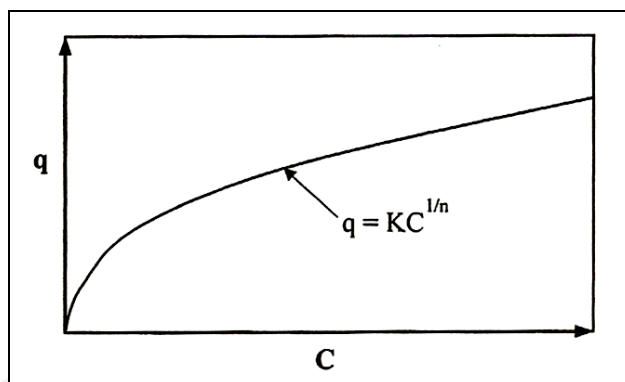
ถ้า $\frac{1}{n} = 1$ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

ถ้า $\frac{1}{n} < 1$ บอกถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะต่ำในทุกค่าของความเข้มข้น C หรือกล่าวว่ามีปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับในปริมาณจำกัดในการดูดซับ

ถ้า $\frac{1}{n} > 1$ บอกถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่ามีพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (9) จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (4) ดังภาพที่ 21 จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้

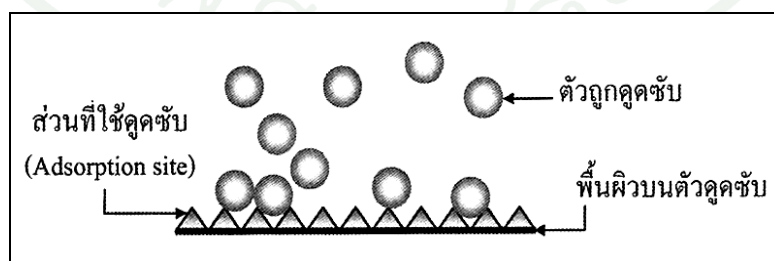


ภาพที่ 21 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

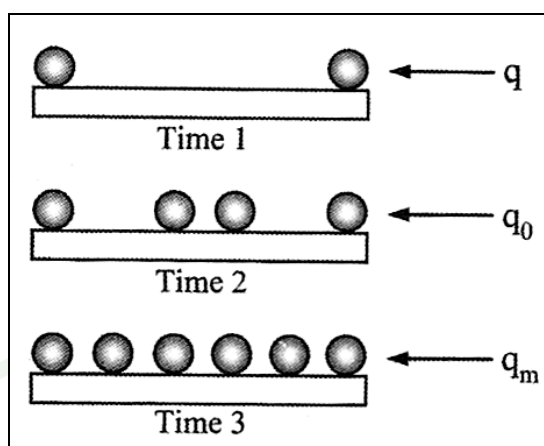
4.7.3 สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

มีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Monogeneous adsorption surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer) ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัดปริมาณของโมเลกุลที่จะดูดซับ และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มี การเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 23 การดูดซับของแก๊สเมิร์คิวรี่เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และกนิดา (2550)

จากความรู้เรื่องสมดุลการดูดซับ และจากสมการที่ (1) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแก๊สเมิร์คิวรี่ จะใช้สมการที่ (1) เพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \quad (6)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (6) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \quad (7)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม)

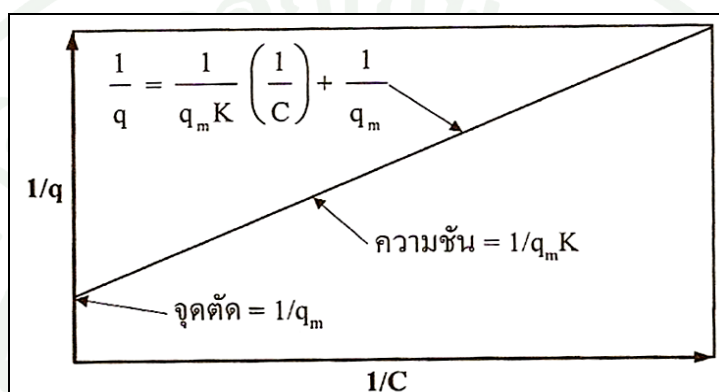
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ

$\frac{1}{Kq_m}$ และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

4.8 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ อาจแบ่งได้ 5 ประเภท

4.8.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และแอคติเว-เตดซิลิกา (Zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

4.8.2 ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม

4.8.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อดูดซับสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

4.8.4 วัสดุชีวภาพ (Biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ขี้เลื่อย เปลือกกุ้ง (นำมาทำไคโตซาน) กากกาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (Rice straw) เปลือกไม้ (Bark) ถ่านแกลบดำ ชังข้าวโพด และถ่านจากการเผาต้นธูปฤๅษี ต้นกกกลม ต้นพุทธรักษา และผักตบชวา เป็นต้น

4.8.5 สารดูดซับชีวภาพ (Biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิติโรจน์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาการดูดซับสีข้อม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินที่นำเข้าจากประเทศอเมริกา และจากกะลามะพร้าวที่ผลิตได้ในประเทศไทย โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ เวลาเข้าสู่สมดุล ปริมาณถ่านกัมมันต์ ปริมาณสีข้อมเริ่มต้น ความเป็นกรด-เบส ของสารละลายสีข้อมเริ่มต้น การปรับสภาพด้วยเกลือแกง ขนาดของถ่านกัมมันต์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินมีอัตราเร็วของการดูดซับสูงกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ความสามารถในการดูดซับยังมีค่าสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสีข้อม พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสีข้อมเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง นอกจากนี้ยังพบว่า ความสามารถในการดูดซับสีที่สารละลายสีมีค่าเป็นกรดอ่อน ขนาดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดที่อยู่ในช่วง 125-150 ไมโครเมตร เหมาะสมกับการดูดซับสีข้อมแบบจำลองของการดูดซับสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าวได้เท่ากับ 222.22 และ 158.73 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อใช้เกลือแกงในการปรับสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสีข้อมเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินในสภาวะที่ดูดซับที่เหมาะสม ดังนั้นสามารถใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ในการดูดซับสีข้อมทดแทนถ่านกัมมันต์จากถ่านหินได้ ถึงแม้้อัตราการดูดซับจะช้ากว่าเล็กน้อย

รัตนา (2543) ได้ศึกษาการดูดซับของสีย้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคตินและไคโตซาน โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อม 4 ชนิด (C.I. Acid Red 360, C.I. Reactive Red 158, C.I. Direct Red 80 และ C.I. Basic Red 24) บนตัวดูดซับ 3 ชนิด (เปลือกกุ้ง, ไคติน และไคโตซาน) พบว่า ตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสีแอซิด สีรีแอคทีฟ และสีไดเรค ได้ดีในสารละลายกรดที่มีค่าพีเอช 5 หรือต่ำกว่า โดยไคโตซานจะดูดซับสีย้อมดังกล่าวได้ในปริมาณที่สูงกว่าไคตินและเปลือกกุ้ง ตรงข้ามกับสีเบสิกจะถูกดูดซับได้ดีในสารละลายด่างที่มีค่าพีเอช 10 หรือสูงกว่า โดยเปลือกกุ้งจะดูดซับสีเบสิกได้ในปริมาณที่สูงกว่าไคตินและไคโตซานมาก และในการดูดซับสีย้อมออกจากน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอพบว่า ไคโตซานสามารถดูดซับสีแอซิด สีรีแอคทีฟ และสีไดเรค ได้ในปริมาณสูงสุดเกือบถึงร้อยละ 72, 61 และ 94 ตามลำดับ ส่วนเปลือกกุ้งสามารถดูดซับสีเบสิกจากน้ำเสียได้ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 43 ปริมาณสีย้อมที่ดูดซับได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมในน้ำเสีย

เปล่งศักดิ์ (2546) ได้ศึกษาการใช้เรซินผักตบชวาบำบัดสีจากน้ำเสียย้อมผ้า พบว่า เรซินผักตบชวาแบบกรดแก่มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 0.68 meq/g และเรซินผักตบชวาแบบกรดแก่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โทนสีน้ำเงินทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ สีเอซิด สีไดเรคท์ และสีรีแอคทีฟ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี ร้อยละ 98.78, 96.70 และ 46.35 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการบำบัดสี ซีโอดี สารแขวนลอย และปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียย้อมผ้า มีค่าร้อยละ 52.66, 38.46, 54.28 และ 79.67 ตามลำดับ ค่าพีเอชหลังการบำบัดมีค่าลดลงจาก 7.1 เป็น 3.6 หลังการบำบัด ซึ่งคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยเรซินผักตบชวาแบบกรดแก่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมพบว่า คุณภาพน้ำเสียอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกพารามิเตอร์ ยกเว้น ค่าพีเอช ดังนั้นจึงต้องปรับค่าพีเอชให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานด้วยสารละลายด่างหรือปูนขาวก่อนปล่อยทิ้งต่อไป

สุภาพร (2547) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีและปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียสีย้อมผ้า โดยใช้วัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ พบว่า วัสดุทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีต่างกัน เศษถ่านไม่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ จีเลื้อย และฟางข้าวในน้ำลิตรที่ 3 และผลของการเปลี่ยนแปลง pH โดยใช้วัสดุทั้ง 3 ชนิด พบว่า ฟางข้าว จีเลื้อย และเศษถ่านไม้ เป็นผลให้ค่า pH ของน้ำสีย้อมสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานมีค่าลดลง โดยน้ำสีย้อมสังเคราะห์ที่ผ่านฟางข้าว จีเลื้อย และเศษถ่านไม้ มีค่าอยู่ในช่วง 5.90 – 7.43, 5.87 – 7.71 และ 7.80 – 9.17 ตามลำดับ ส่วนในน้ำเสียจากโรงงานที่ผ่านฟางข้าว จีเลื้อย และถ่านไม้ มีค่าอยู่ในช่วง 6.97 – 7.97, 6.73 – 7.67 และ 8.42 – 8.96 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก พบว่า วัสดุทั้ง 3 ชนิดสามารถดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และโครเมียมได้

กรกช (2547) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการลดซีโอดี และสี ออกจากน้ำเสียด้วยระบบดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเปลือกมะคาเดเมีย พบว่า น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่มีซีโอดีระหว่าง 1600 – 1800 mg/l และมีค่าสีระหว่าง 40 – 60 su ผ่านการทดลองแบบเบดซ์ และถังกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ยาว 30 cm ผลการทดลองเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเปลือกมะคาเดเมียดูดซับซีโอดีและสีแล้ว ได้ผลการทดลองคือ

1. ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ชนิดเปลือกมะคาเดเมีย ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากท้องถิ่น
2. เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย พบว่า ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นด้วย
3. เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอช พบว่า แนวโน้มประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อมีค่าพีเอชเพิ่มจาก 3 ถึง 5 แต่พบว่าแนวโน้มประสิทธิภาพลดลงหลังจากพีเอชมากกว่า 7
4. จากการทดลองแบบถังกรอง พบว่า เมื่อใช้อัตราการระบายร่นน้อยกว่าจะทำให้ความสามารถในการดูดติดสูงกว่าเมื่อใช้อัตราการระบายร่นที่มากกว่า

จินตนา (2550) ได้ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวาในการดูดซับสีย้อมไคเรกต์จากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยใช้กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีเพื่อปรับสภาพตัวดูดซับซึ่งตัวดูดซับที่ได้มีลักษณะเป็นผลและถูกปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 15% 20% 25% และตัวดูดซับที่ไม่ปรับสภาพ ทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของค่า พีเอช ปริมาณตัวดูดซับ เวลาการปั่นกววน เวลาการสัมผัส และความเข้มข้นสีย้อมไคเรกต์โดยทำการทดลองแบบเบดซ์ พบว่า ประสิทธิภาพตัวดูดซับเป็นไปตามกลไกสมการการดูดซับของฟรุนดลิชและแลงเมียร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผงตัวดูดซับจากผักตบชวาสามารถดูดซับสีย้อมไคเรกต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Kadirvelu et al. (2003) ได้ศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมแลโลหะหนักโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกต้นฝ้าย เศษต้นมะพร้าว ของเสียจากอุตสาหกรรมสาหร่าย ช้างข้าวโพด และแกนต้นกล้วย มาใช้ดูดติดสี rhodamine-B, Congo red, methyl violet, methylene blue, malachite green, mercury (HgCl_2) and nikel (NiSO_4) วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าการ

ดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากวัสดุคิปต่างๆสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดี แต่เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีย้อมจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้

Senthikumaar *et al.* (2006) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากดอกมะพร้าว (Coconut Tree Flower) และเส้นใยปอกระเจา (Jute Fiber) เพื่อใช้ดูดซับสี Reactive Red 120 และนำไปดูดซับสีที่ความเข้มข้น 20, 30 และ 40 mg/l และเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 536 nm พบว่า เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสี Reactive Red 120 จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเส้นใยปอกระเจาส่งกกว่าถ่านกัมมันต์จากดอกมะพร้าว คือ 200 mg/g และ 181.9 mg/g ตามลำดับ

Santhy *et al.* (2006) ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากใยเปลือกมะพร้าว พบว่าในการทดลองแบบเบดซ์ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล และปริมาณตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ผลการทดลองพบว่าการดูดซับสอดคล้องกับสมการการดูดซับที่ผิวหน้าของแลงเมียร์ ในการทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลที่น้อยลงและใช้ปริมาณตัวดูดซับมากขึ้น และการฟื้นฟูถ่านที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ถ่านจากใยเปลือกมะพร้าวสามารถลดสีและซีไอดีในน้ำเสียได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1 เครื่องยูวี วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น Spectrum SP-1102
- 1.2 pH Meter รุ่น 410 บริษัท Thermo Orion Co.,Ltd.
- 1.3 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด อ่านค่าละเอียด 0.0001 g รุ่น WB-0250003 บริษัท KERM & Sohn GmbH
- 1.4 ตู้อบ (Oven) รุ่น OF-11E บริษัท JEIO TECH, KOREA
- 1.5 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ whatman
- 1.6 เดสซิเคเตอร์ (desiccator)
- 1.7 เครื่องแก้ว ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 1.8 กระดาษพลาสติกขนาด 51x51x54 เซนติเมตร

2. สารเคมี

2.1 สีย้อมมาตรฐาน

สีย้อม จากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาद्यตุง 9 ชนิด คือ Super Black G, Turquoise H-GN, Yellow LS-4G, Yellow LS-R-01, Orange LS-BR, Navy LS-G, Red LS-B, Blue LS-3R และ Br.Blue LS-G

2.2 สารเคมีที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

3. ตัวดูดซับ

เปลือกกะลาเผาจากโครงการคอยดุง

4. วัสดุเพาะปลูก

4.1 กรวด

4.2 ทรายหยาบ

4.3 ทรายละเอียด

4.4 ดินนา

5. พืชที่ใช้ในการวิจัย

5.1 ต้นกกกลม

5.2 ต้นรูปถ่าย

6. น้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาคอยดุง

วิธีการ

1. การเตรียมตัวดูดซับเปลือกกะลาเผาแบบบอบและแบบถ่าน

1.1 เปลือกแบบบอบ ทำโดยนำเปลือกกะลาเผาที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอน จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออก



ภาพที่ 25 การเตรียมเปลือกกะลาเผาอบ

1.2 เปลือกแบบถ่าน นำเปลือกกะลาเผามาเผาในเตาเผาแบบภูมิปัญญาชาวบ้านจนกลายเป็นถ่าน จากนั้นนำถ่านเปลือกกะลาเผาที่ได้มาผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอนอีกครั้ง และมาอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น



ภาพที่ 26 การเตรียมถ่านเปลือกกะลาเผา



ภาพที่ 27 เตาเผาถ่านแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน

2. การเตรียมสารละลายสีย้อมมาตรฐาน

2.1 การเตรียมสารละลายสีย้อมมาตรฐาน แต่ละชนิดเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร

ชั่งสีย้อมมาตรฐานแต่ละชนิดทั้งหมด 9 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยชั่งสีย้อม 20 มิลลิกรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตรแต่ละขวด

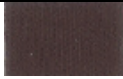
2.2 การเตรียมสารละลายสีย้อมมาตรฐานผสม แต่ละชนิดเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร

ชั่งสีย้อมมาตรฐานทั้งหมด 9 ชนิด ชนิดละ 20 มิลลิกรัม ใส่ในปิกเกอร์เดียวกัน ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกันและใช้สารละลายสีย้อมมาตรฐานผสมนี้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์

2.3 สารละลายมาตรฐานสีย้อมมาตรฐานเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม

ชั่งสีย้อมมาตรฐานชนิดละ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร

ตารางที่ 2 ความยาวคลื่นที่แต่ละสีย้อมจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาออยดุง 9 ชนิด
ดูคลื่นแสงได้ดีที่สุด

Dyes	$\lambda_{\max}$ (nm)
 Super Black G	594
 Turquoise H-GN	662
 Yellow LS-4G	420
 Yellow LS-R-01	400
 Orange LS-BR	434
 Navy LS-G	616
 Red LS-B	546
 Blue LS-3R	588
 Br.Blue LS-G	666

3. ศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับของเปลือกกะลาตากาแฟและถ่านเปลือกกะลาตากาแฟ โดยทำการทดลองแบบแบตช์

ปัจจัยที่ทำการศึกษา เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาตากาแฟและถ่านเปลือกกะลาตากาแฟ มีดังนี้

3.1 ศึกษาปริมาณเปลือกกะลาตากาแฟ

3.1.1 ชั่งเปลือกกะลาตากาแฟแบบอบปริมาณ 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0 และ 12.0 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 ปริมาตร 100

มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมของสีย้อมแต่ละชนิด และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัด

3.1.2 นำถ่านเปลือกกะลาเผาทำการทดลองเช่นเดียวกับในข้อ 3.1.1

3.2 ศึกษาอิทธิพลของพีเอช

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.1 โดยชั่งเปลือกกะลาเผาทั้ง 2 ชนิด ปริมาณที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.1 โดยแปรผันค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9 เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่เหมาะสมที่สุด

3.3 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลากำจัด

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2 โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์และปรับพีเอชให้เท่ากับพีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2 และแปรผันระยะเวลากำจัดเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง

3.4 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3 โดยใช้ระยะเวลากำจัดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง ข้อ 3.3 แปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.5 ศึกษาไอโซเทอร์มในการกำจัดสีย้อม

ใช้ปริมาณเปลือกกะลาเผาทั้ง 2 ชนิด ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4 โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสีย้อมที่ได้จากข้อ 3.4 และตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งถึงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสีย้อมที่ได้จากการทดลองข้อ 3.3 และนำข้อมูลที่ได้มาเขียนไอโซเทอร์มของเลงเมียร์และฟรุนดลิช

3.6 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาออยตุง

นำน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาออยตุง มาทดลองในสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบคซ์ในข้อ 3.5 โดยเลือกชนิดตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดลอง

4. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมของดินนา

4.1 นำดินนามาทำการทดลองโดยวิธีแบบเบคซ์เช่นเดียวกับเปลือกกะลาเผา

4.2 ศึกษาอัตราส่วนของเปลือกกะลาเผาต่อดินที่ทำการศึกษาคือ 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 และ 1:7 ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนของเปลือกกะลาเผาต่อดินนา

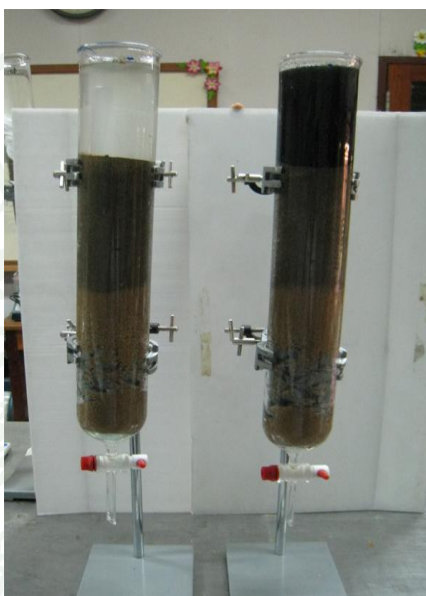
อัตราส่วน	เปลือกกะลาเผา : ดินนา (กรัม)
1:1	9:9
1:2	9:18
1:3	9:27
1:4	9:36
1:5	9:45
1:6	9:54
1:7	9:63

5. การทดลองด้วยวิธีไหลต่อเนื่อง (continuous flow)

5.1 นำคอลัมน์แก้วขนาด 5.8 x 37 เซนติเมตรมาบรรจุชั้น กรวด 9.6 เซนติเมตร ทราหยาบ 4.2 เซนติเมตร ทราละเอียด 2.8 เซนติเมตร และเปลือกกะลาเผาแบบที่เหมาะสมผสมกับดินนาในอัตราส่วนที่ได้จากการศึกษาในข้อ 4.2 ซึ่งเป็นการจำลองพื้นที่ปลูกพืชของระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่

ชุ่มน้ำเทียม แล้วปล่อยน้ำเสียสังเคราะห์ให้สูงเหนือจากชั้นวัสดุเพาะปลูกที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตามหลักการของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

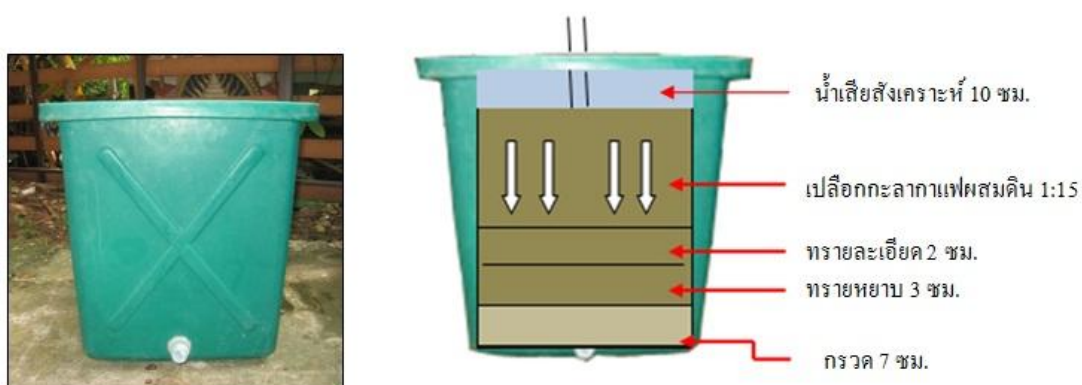
5.2 นำน้ำเสียจากโรงงานสีย้อมผ้ามาทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5.1



ภาพที่ 28 คอลัมน์บรรจุชั้นวัสดุเพาะปลูกโดยเรียงลำดับจากชั้นกรวด, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด และเปลือกกะลาเผาผสมกับดิน

6. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก (filtrated lysimeter technique)

โดยศึกษาการบำบัดสีย้อมในกระบะพลาสติกขนาด $51 \times 51 \times 54$ เซนติเมตร ที่บรรจุชั้นกรวดหนา 7 เซนติเมตร ทรายหยาบหนา 3 เซนติเมตร ทรายละเอียดหนา 2 เซนติเมตร และเปลือกกะลาเผาผสมกับดินในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากผลการศึกษาในข้อที่ 4.2 ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิดคือ ทุปถาญีและกกกลม จากนั้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 ลิตร แซ่ทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่กำหนดที่ศึกษาได้จากวิธีแบบเบตซ์ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม



ภาพที่ 29 กระบะปลูกและชั้นของกรวด, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด และเปลือกกะลาเผาผสมดิน

7. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและดิน วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาทำการวิจัย เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2555

ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาการกำจัดสีย้อม ด้วยกระบวนการดูดซับโดยเปลือกกะลาเผาเป็นตัวดูดซับ พร้อมทั้งศึกษากับน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาคลอง การทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองแบบเบดซ์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำจัด ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ พีเอช ระยะเวลากำจัด ไอโซเทอร์มของการกำจัด และอัตราส่วนของตัวดูดซับต่อดินนาที่เหมาะสม ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองการดูดซับวิธีไหลต่อเนื่อง โดยใช้คอลัมน์แก้วบรรจุชั้นวัสดุปลูกเช่นเดียวกับพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ของโครงการแหลมผักเบี้ย และเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนา ทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า และส่วนที่ 3 เป็นการทดลองโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กโดยใช้กระบะพลาสติกที่บรรจุวัสดุปลูกเช่นเดียวกับการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง และปลูกพืช 2 ชนิด คือ กกกลม และธูปฤาษี ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดเป็นดังนี้

1. ลักษณะของตัวดูดซับที่ได้

1.1 เปลือกกะลาเผาอบและถ่าน

จากการเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกกะลาเผาในการทดลองข้อที่ 1 เปลือกกะลาเผาแบบอบ มีลักษณะเป็นเกล็ดสีเหลืองธรรมชาติ ส่วนถ่านเปลือกกะลาเผา มีลักษณะเป็นเกล็ดสีดำสนิท ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 เปลือกกะลาเผาอบและถ่านเปลือกกะลาเผา

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมแต่ละชนิด

นำสารละลายสีย้อมมาตรฐาน ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) ที่ค่าความยาวคลื่น 400, 420, 434, 546, 588, 594, 616, 662 และ 666 นาโนเมตร ตามลำดับ เมื่อเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกนตั้ง) และความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมแต่ละชนิด (แกนนอน) พบว่า ได้สมการเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-Square) ของสารละลายสีย้อมแต่ละชนิด (0.9873 - 0.9968) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) กราฟมาตรฐานสีย้อม 9 ชนิด

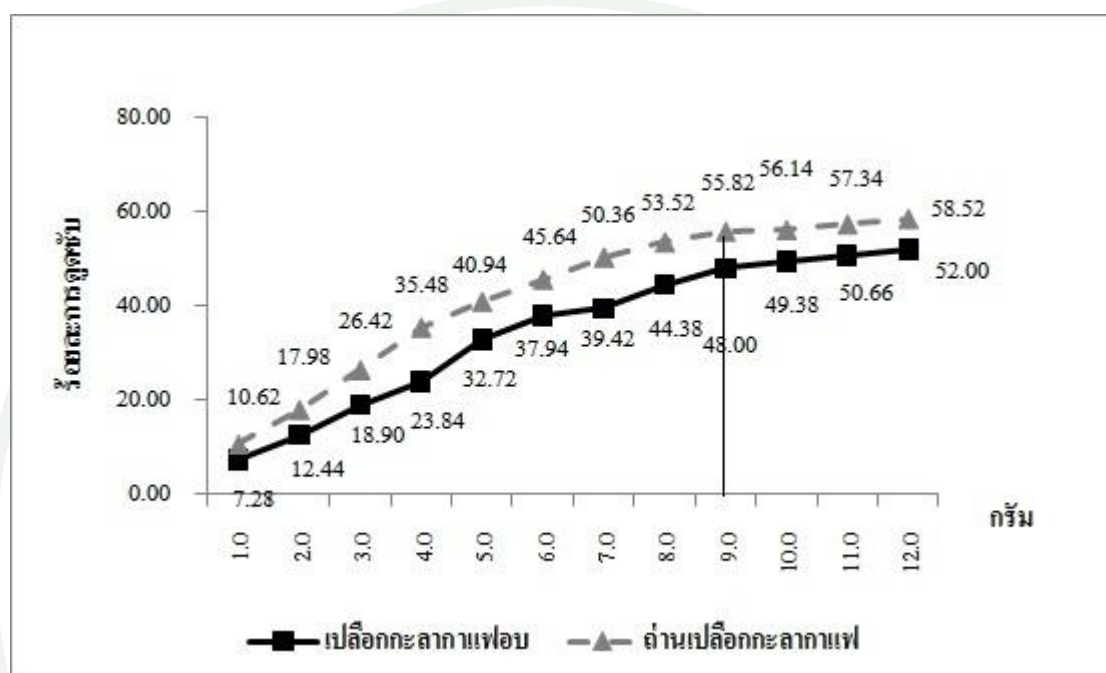
ชนิดสีย้อม	สมการเชิงเส้น	R^2
Yellow LS-RN	$y = 0.0841x + 0.1017$	0.9951
Yellow LS-4G	$y = 0.0771x + 0.2532$	0.9945
Orange LSB	$y = 0.0823x + 0.0737$	0.9951
Red LS-BN	$y = 0.0697x + 0.0252$	0.997
Blue LS-3R	$y = 0.0708x + 0.1622$	0.9948
Black G	$y = 0.0803x + 0.0557$	0.9958
Navy LS-G	$y = 0.0776x + 0.0901$	0.9974
Turquoise H-GH	$y = 0.0372x + 0.219$	0.9873
Br.Blue G	$y = 0.0344x + 0.2058$	0.9968

3. ผลการศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับของเปลือกกะลาเผาอบและถ่านเปลือกกะลาเผา โดยทำการทดลองแบบเบตซ์

3.1 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับเปลือกกะลาเผาอบเบื้องต้น

จากการทดลอง 3.1 โดยแปรผันปริมาณเปลือกกะลาเผาทั้ง 2 ชนิดเป็น 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0 และ 12.0 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่า เปลือกกะลาเผาทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้เพียง 5 ชนิด คือ

Turquoise H-GN, Navy LS-G, Red LS-B, Blue LS-3R และ Br.Blue LS-G โดยปริมาณเปลือกกะลา กาแฟทั้ง 2 ชนิด 9.0 กรัม ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมสูงสุดที่ร้อยละ 48.00 และ 55.82 ตามลำดับ ดังภาพที่ 31 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เปลือกกะลากาแฟทั้ง 2 ชนิด ที่ปริมาณ 9 กรัม มาใช้ในการศึกษาและทดลองปัจจัยอื่นๆ ต่อไป

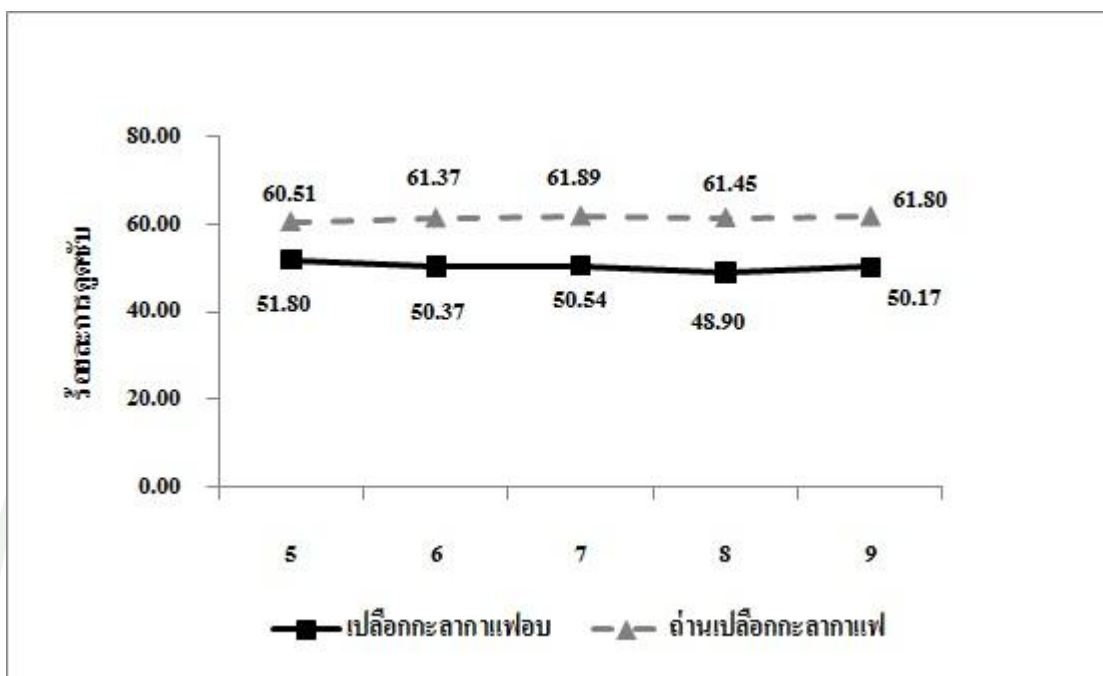


ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเปลือกกะลากาแฟและถ่านเปลือกกะลากาแฟ กับร้อยละการกำจัดสีข้อมเฉลี่ย

3.2 ศึกษาอิทธิพลของพีเอช

จากการทดลองในข้อ 3.2 ใช้เปลือกกะลากาแฟทั้ง 2 ชนิด 9 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรที่มีการปรับพีเอชเป็น 5, 6, 7, 8 และ 9 พบว่าเปลือกกะลากาแฟสามารถกำจัดสีข้อมได้ร้อยละ 48.90 – 51.80 และถ่านเปลือกกะลากาแฟสามารถกำจัดสีข้อมได้ ร้อยละ 60.51 – 61.89 ดังภาพที่ 32 จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าพีเอชต่างกันให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมใกล้เคียงกัน หรือกล่าวได้ว่าพีเอชไม่มีอิทธิพลต่อการกำจัด เนื่องจากโครงสร้างของเปลือกกะลากาแฟมีความเป็นรูพรุนอยู่มากทำให้กลไกการดูดซับสีข้อมของเปลือกกะลากาแฟจึงเป็นการดูดซับแบบกายภาพ คือ โมเลกุลสีข้อมถูกจับไว้ในรูพรุน

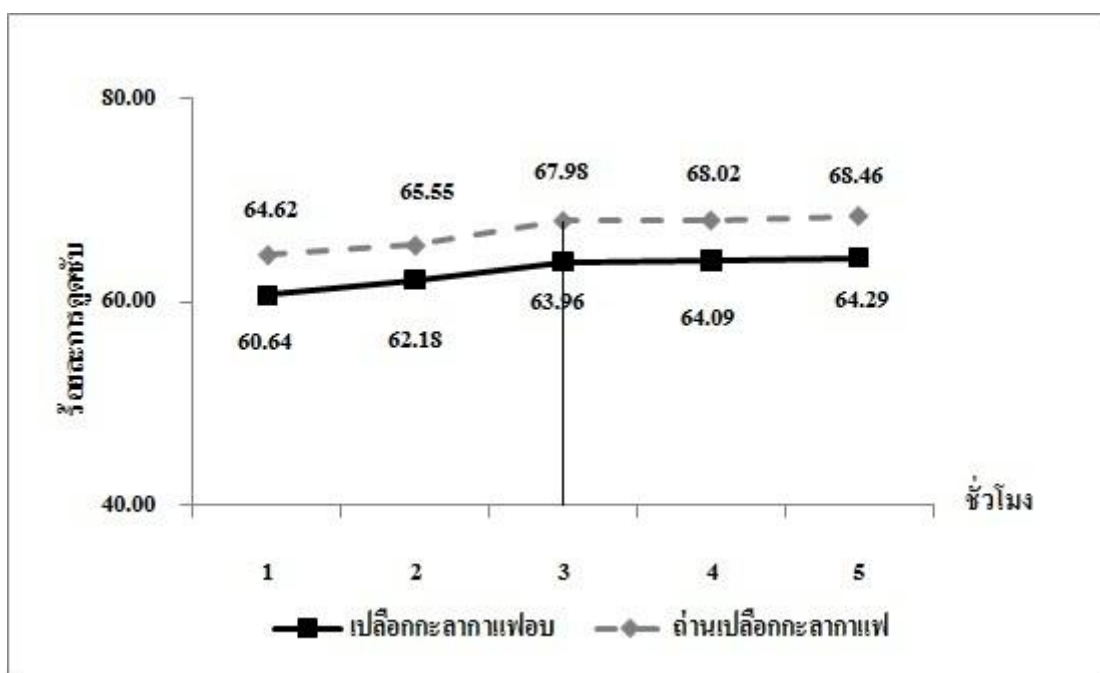
ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้สภาวะที่เป็นกลาง (pH 7) ในการทำการทดลองขั้นต่อไป เพื่อลดปัญหาสภาพกรด – เบสของน้ำทิ้ง



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาตากแอม และถ่านเปลือกกะลาตากแอม

3.3 ศึกษาอิทธิพลระยะเวลาสัมผัส

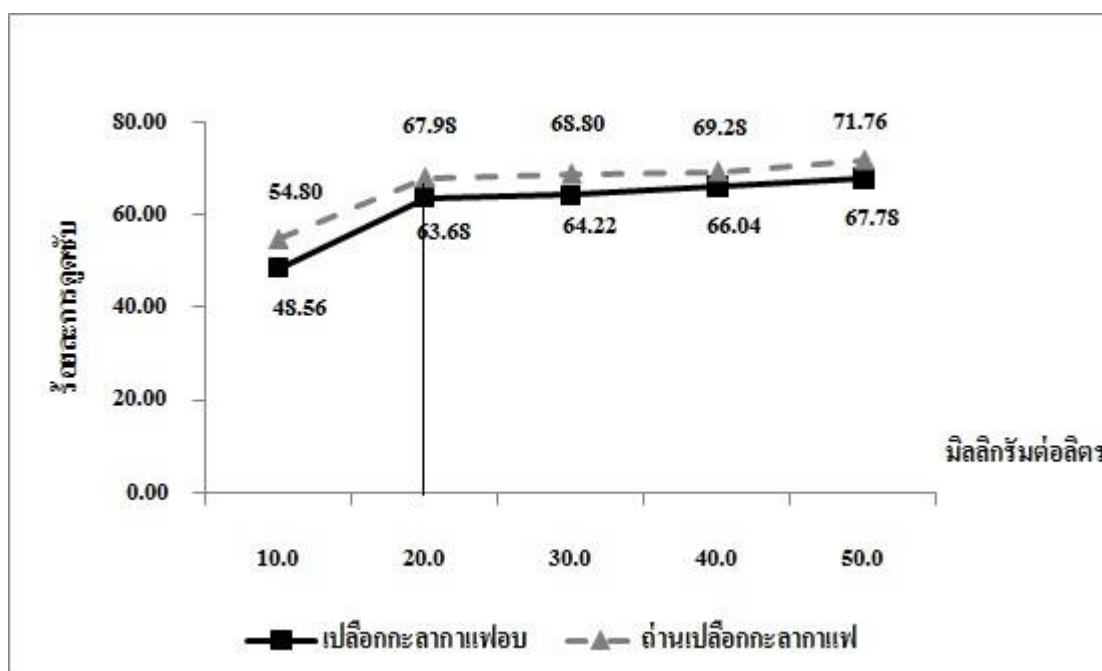
จากการทดลองข้อ 3.3 ใช้เปลือกกะลาตากแอม 9 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชเท่ากับ 7 เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างกันเป็นชั่วโมง คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง พบว่าเปลือกกะลาตากแอมทั้ง 2 ชนิด กำจัดสีย้อมได้เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาสัมผัสนานขึ้นและมีแนวโน้มคงที่เมื่อระยะเวลาสัมผัสมากกว่า 3 ชั่วโมง เนื่องจาก พื้นผิวตัวดูดซับที่มีศักยภาพในการดูดซับก็มีปริมาณจำกัด เมื่อถึงจุดๆหนึ่งการดูดซับจะค่อยๆน้อยลงจนคงที่ ซึ่งเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัด คือ 3 ชั่วโมง ซึ่งเปลือกกะลาตากแอมและถ่านเปลือกกะลาตากแอมสามารถกำจัดสีย้อมได้ร้อยละ 63.96 และ 67.98 ตามลำดับ ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับร้อยละการกำจัดสีด้วยเปลือกกะลาปากาแฟ และถ่านเปลือกกะลาปากาแฟ

3.4 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองในข้อ 3.4 โดยใช้เปลือกกะลาปากาแฟ 9 กรัม น้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร โดยแปรผันความเข้มข้นของสีย้อมแต่ละชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับพีเอชเท่ากับ 7 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ตั้งแต่ 20 – 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เปลือกกะลาปากาแฟทั้ง 2 แบบสามารถกำจัดสีย้อมได้ใกล้เคียงกัน โดยเปลือกกะลาปากาแฟแบบบอบอยู่ในช่วงร้อยละ 63.68 – 67.78 และถ่านเปลือกกะลาปากาแฟสามารถกำจัดสีย้อมอยู่ในช่วงร้อยละ 68.80– 71.76 ดังภาพที่ 34 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรมาทำการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 34 ความเข้มข้นของสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์กับร้อยละการกำจัดสีข้อมด้วยเปลือกกะลาฟอบและถ่านเปลือกกะลาฟ

3.5 ไอโซเทอร์มในการกำจัดสีข้อม

จากการทดลองในข้อที่ 3.5 ใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับพีเอชเท่ากับ 7 ปริมาณเปลือกกะลาฟ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 10.0, 11.0 และ 12.0 กรัม ดังตารางที่ 5

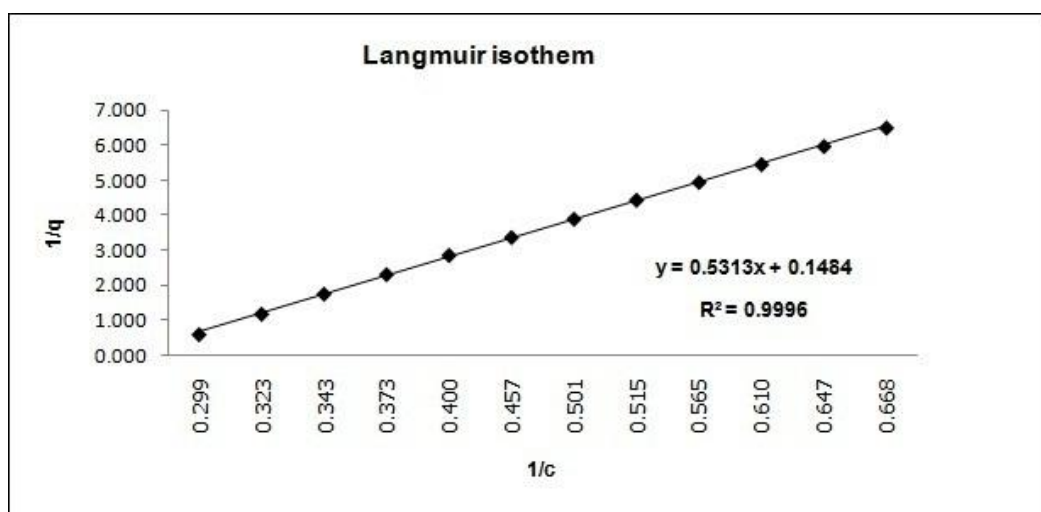
ตารางที่ 5 อิทธิพลของปริมาณเปลือกกะลาฟต่อร้อยละการกำจัดสีข้อมจากเปลือกกะลาฟ

ปริมาณ (g)	ร้อยละการกำจัดสีข้อมของตัวดูดซับ	
	เปลือกกะลาฟแบบอบ	เปลือกกะลาฟแบบเผา
1.0	7.28	10.62
2.0	12.44	17.98
3.0	18.90	26.42
4.0	23.84	35.48
5.0	32.72	40.94
6.0	37.94	45.64

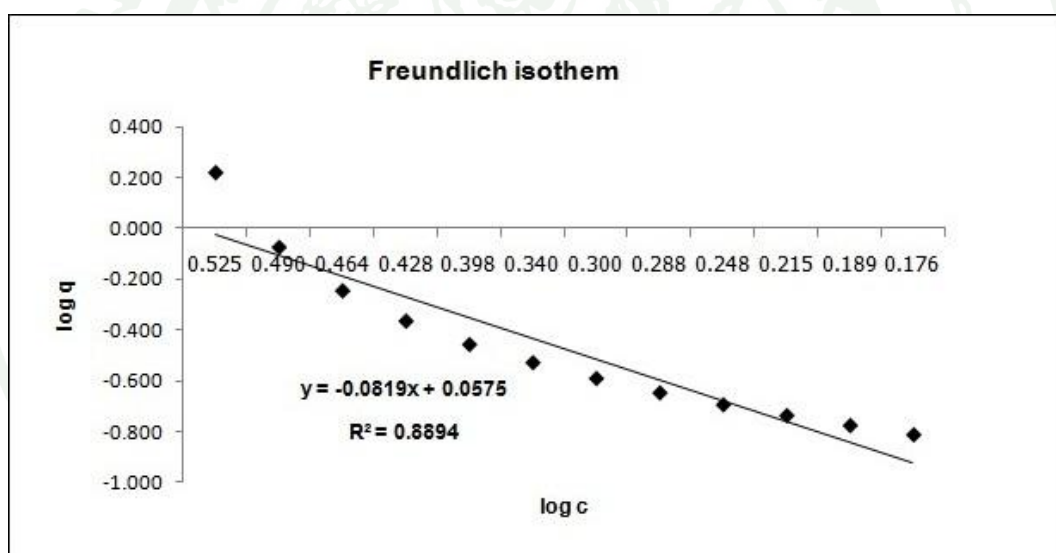
ตารางที่ 5 (ต่อ)

ปริมาณ (g)	ร้อยละเฉลี่ยการกำจัดสีย้อมของตัวดูดซับ	
	เปลือกกะลาเผาแบบอบ	เปลือกกะลาเผาแบบเผา
7.0	39.42	50.36
8.0	44.38	53.52
9.0	48.00	54.82
10.0	49.38	56.14
11.0	50.66	57.34
12.0	52.00	58.52

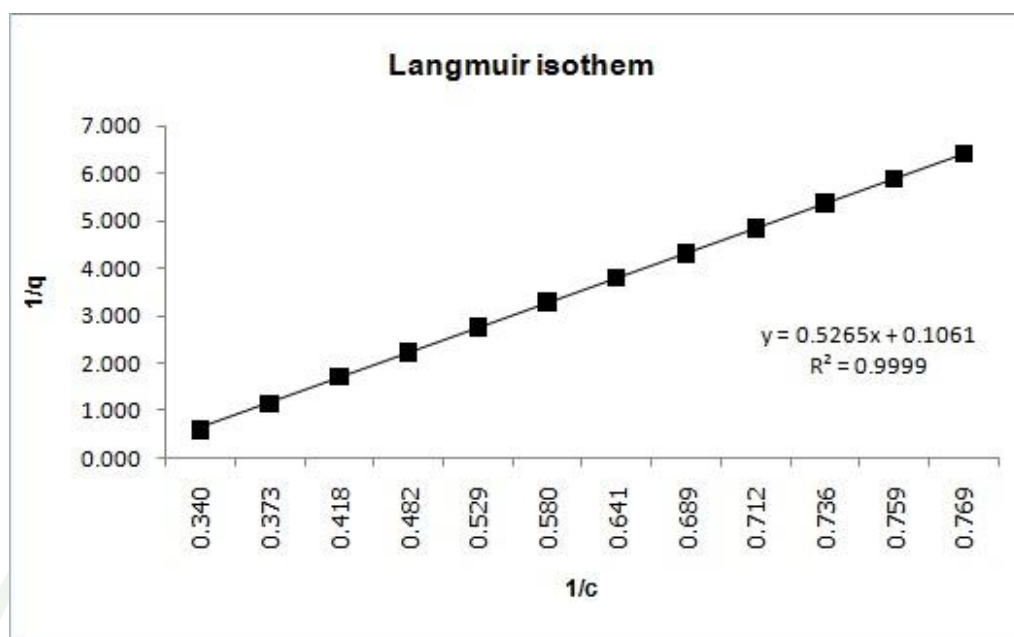
จากการนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการกำจัดสีย้อมสังเคราะห์ของเปลือกกะลาเผา เพื่อศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมสังเคราะห์ โดยนำผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้มาเขียนไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิชได้ไอโซเทอร์มดังภาพที่ 35 ถึงภาพที่ 38 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับสีย้อมของแลงเมียร์และฟรุนดลิชคือ 0.9996 และ 0.8894 ตามลำดับ และถ่านเปลือกกะลาเผา พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับสีย้อมของแลงเมียร์และฟรุนดลิชคือ 0.9999 และ 0.8946 ตามลำดับ กล่าวคือ เปลือกกะลาเผาที่มีกลไกการดูดซับเป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าฟรุนดลิช เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) มากกว่า ซึ่งกลไกการดูดซับของแลงเมียร์ คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด โดยมีกลไกของการดูดซับที่เหมือนกัน ซึ่งการดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว และตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว



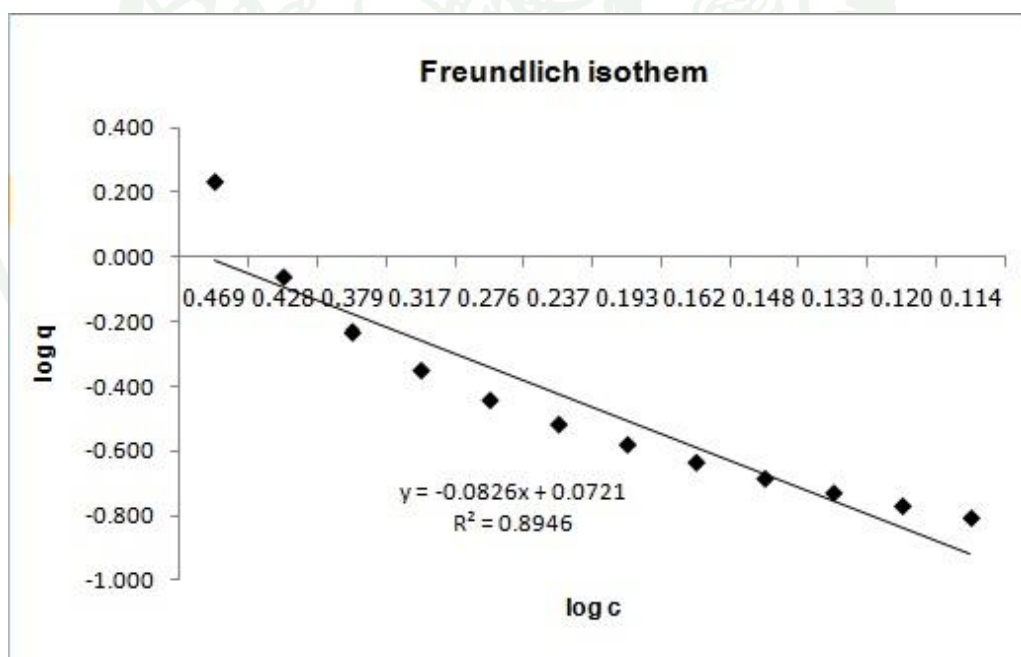
ภาพที่ 35 ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมของแลงเมียร์ด้วยเปลือกกะลาเผา



ภาพที่ 36 ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมของฟรอนด์ชด้วยเปลือกกะลาเผา



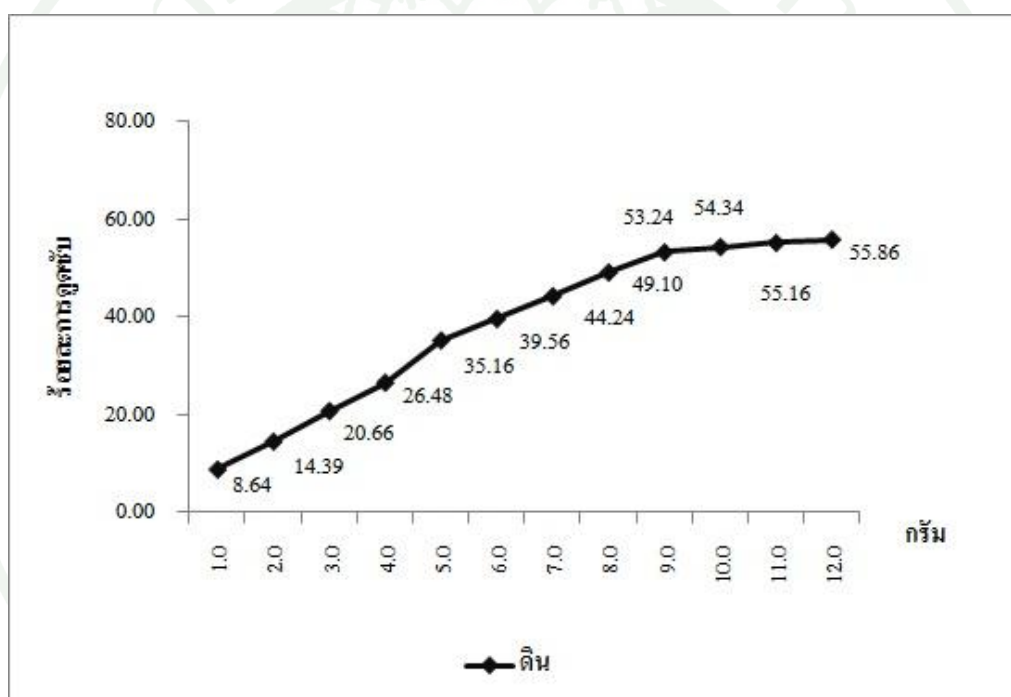
ภาพที่ 37 ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมของแลงเมียร์ด้วยถ่านเปลือกกะลากาแฟ



ภาพที่ 38 ไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมของฟรอนด์ชด้วยถ่านเปลือกกะลากาแฟ

3.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินนาที่เหมาะสม

จากการทดลองในข้อ 4.1 โดยแปรผันปริมาณดินนาค้างนี้ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, และ 12.0 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนโดยตรงกับปริมาณดิน เมื่อปริมาณดินเพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 39 ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ใช้ในการศึกษานั้นเป็นดินนาผสมทรายในอัตราส่วน ดิน 3 ส่วน ทราย 1 ส่วน ซึ่งโมเลกุลของดินนาที่ใช้มีการเกาะตัวกันหลวมๆ ทำให้โมเลกุลของสีย้อมสามารถแทรกไปอยู่ระหว่างดินได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผสมเช่นกัน มีผลดังนี้

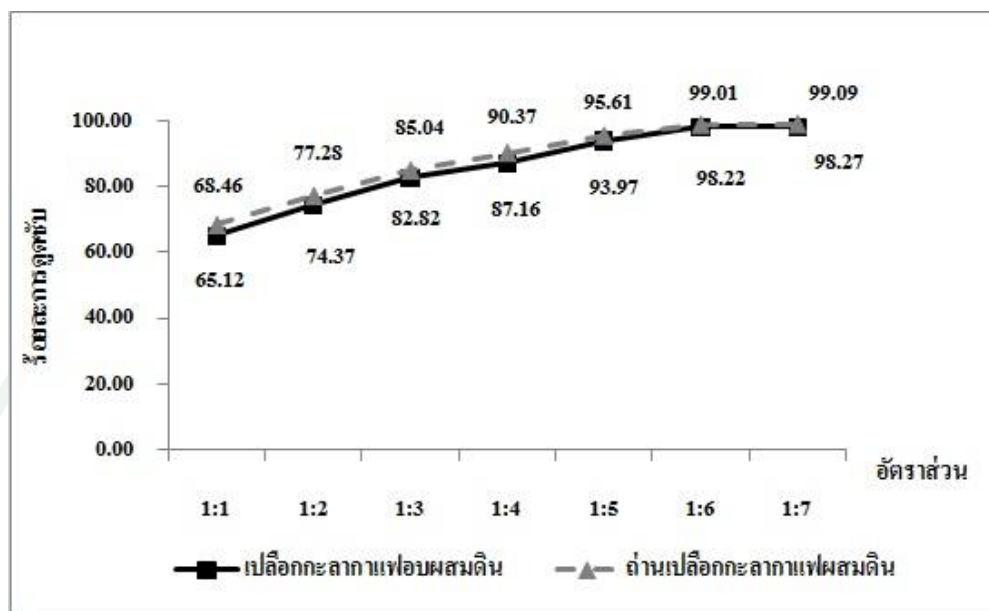


ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดสีย้อมของดินกับปริมาณดิน

3.7 ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างเปลือกกะลาเผากับดินนาที่เหมาะสม

จากการทดลองข้อที่ 3.2 ได้มีการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนของเปลือกกะลาเผาต่อดินนาเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 และ 1:7 ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอช 7 และทำการทดลองแบบเบตซ์ พบว่า อัตราส่วนของเปลือกกะลาเผาและดินนา ให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นและเริ่มคงที่ อัตราส่วนระหว่างเปลือกกะลาเผาและดินนา 1:6 ซึ่งให้ร้อยละการกำจัดเท่ากับ 98.22 และ 99.01 ตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัย

เลือกอัตราส่วนเท่ากับ 1:6 (เปลือกกะลาเผาทั้ง 2 ชนิด 9 กรัม และดินนา 54 กรัม) วัสดุปลูกในการกำจัดสีย้อมด้วยวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง และเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กต่อไป ดังภาพที่ 40



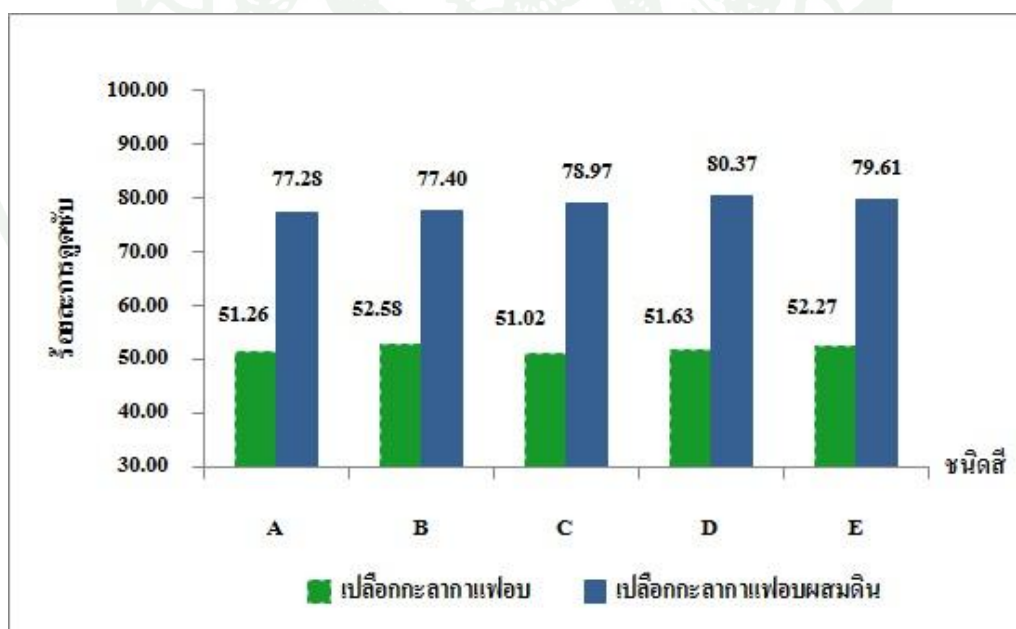
ภาพที่ 40 อัตราส่วนเปลือกกะลาเผาต่อดิน กับร้อยละการกำจัดสีย้อม

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียดังจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาโดยคุณ
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ชนิดสีย้อม	ความเข้มข้นสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Yellow LS-RN	3.202
Yellow LS-4G	0.032
Orange LSB	3.345
Red LS-BN	0.093
Blue LS-3R	0.194
Black G	1.448
Navy LS-G	1.106
Turquoise H-GH	-0.086
Br.Blue G	-1.127

4. ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาอยตุง หลังผ่านการกำจัดด้วย ตัวดูดซับเปลือกกะลาเผาและเปลือกกะลาเผาผสมกับดินเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูก โดยการทดลอง แบบแบบตซ์

จากการทดลองเมื่อทราบสถานะที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมผสม แล้ว นำสถานะที่ได้มาทดลองกับน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาอยตุง พบว่า เปลือก กะลาเผาและเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนาสามารถกำจัดสีย้อมได้ 5 ชนิด ดังภาพที่ 41 พบว่าเปลือกกะลาเผาผสมดินนามีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมากกว่าเปลือกกะลาเผา อย่างเดียว เนื่องจากดินนาความสามารถในการช่วยกำจัดสีย้อม และทั้งเปลือกกะลาเผาและ เปลือกกะลาเผาผสมดินนามีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า น้อย กว่าในน้ำเสียสังเคราะห์ อธิบายได้ว่าในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้ามีสิ่งเจือปนอื่นๆนอกจากสีย้อม อยู่ด้วย และไปรบกวนการกำจัดของเปลือกกะลาเผา ซึ่งเปลือกกะลาเผาและเปลือกกะลา เคาเผาผสมดินนาให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเท่ากับ 51.75 และ 78.73 ตามลำดับ



ภาพที่ 41 เปรียบเทียบร้อยละการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาอยตุง โดยใช้เปลือกกะลาเผาและเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนาเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูก โดยทำการทดลองแบบแบบตซ์

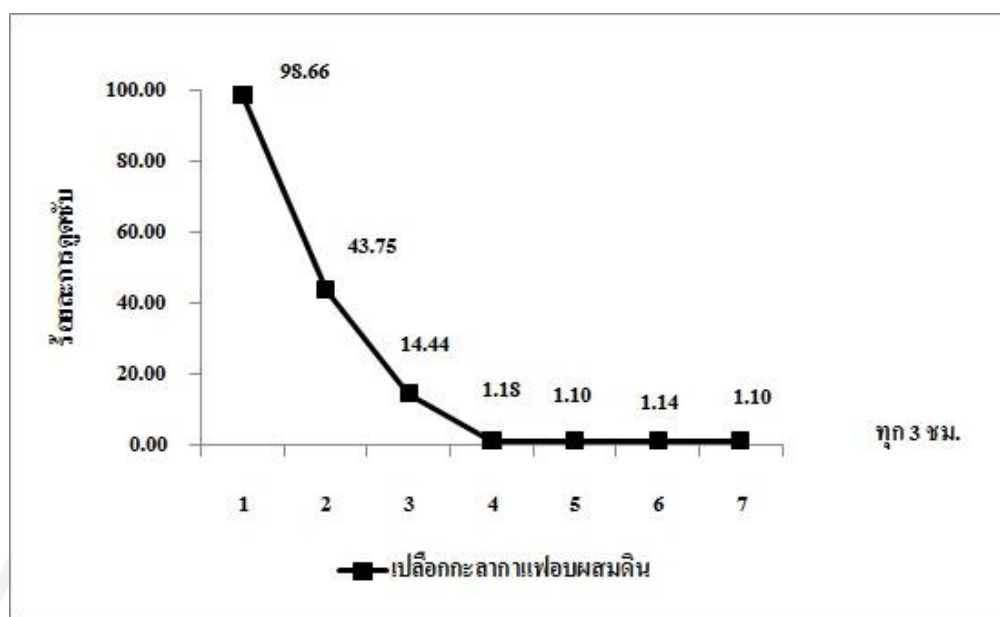
5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ตัวกำจัดเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนา โดยวิธีการไหลต่อเนื่อง

จากการทดลองในข้อ 5.1 ได้ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่บรรจุกรวด 9.6 เซนติเมตร, ทราวยหยาบ 4.2 เซนติเมตร, ทราวยละเอียด 2.8 เซนติเมตร และชั้นของเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนา อัตราส่วน 1:6 จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม 5 ชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนา สามารถกำจัดสีย้อมมีร้อยละการกำจัดโดยเฉลี่ยได้มากถึง 98 ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ร้อยละการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิด ด้วยเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนา อัตราส่วน 1:6 โดยวิธีการไหลต่อเนื่อง

ชนิดสีย้อม	ร้อยละการกำจัดสีย้อมหลังผ่านการกำจัด
Navy LS-G	98.02
Blue LS-3R	98.74
Red LS-B	98.98
Br.Blue LS-G	98.97
Turquoise H-GN	98.61
เฉลี่ย	98.66

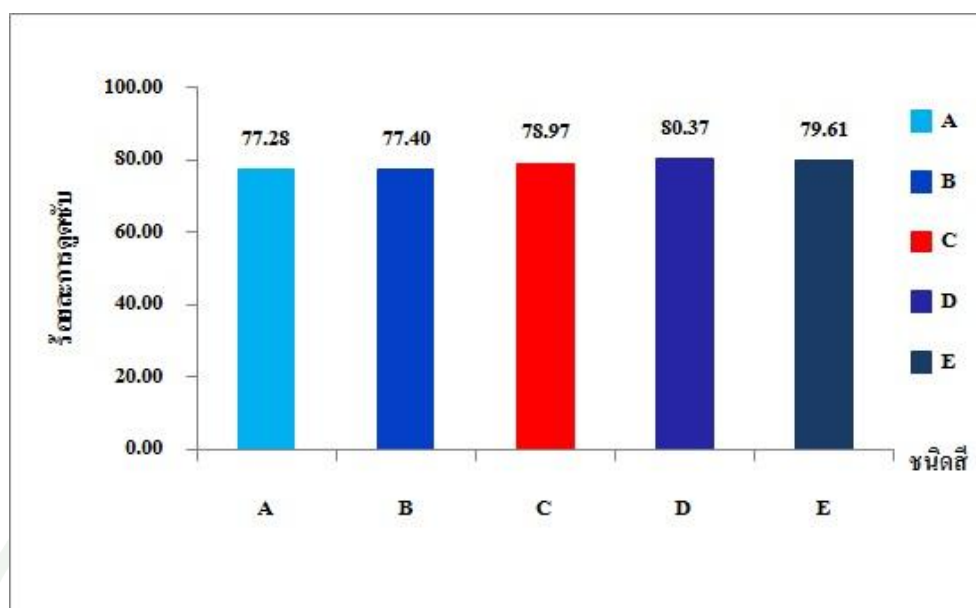
และเมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ทุกๆ 3 ชั่วโมง พบว่าเปลือกกะลาเผาผสมดินนา ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของครั้งก่อน ดังภาพที่ 42 เนื่องจากเปลือกกะลาเผามีความบางทำให้ง่ายต่อการย่อยสลาย



ภาพที่ 42 ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมในสารละลายสีข้อมจากเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนาในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยวิธีการไหลต่อเนื่อง

6. ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โดยใช้ตัวดูดซับเปลือกกะลาเผาผสมกับดิน โดยวิธีการไหลต่อเนื่อง

จากการทดลองในข้อ 5.2 ใช้น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าปริมาตร 400 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 7 และทำการทดลองเช่นเดียวกับน้ำเสียสังเคราะห์ โดยแช่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อม ซึ่งเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนาสามารถกำจัดทุกๆสีใน 5 ชนิดสีได้ใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 77-80 ดังภาพที่ 43



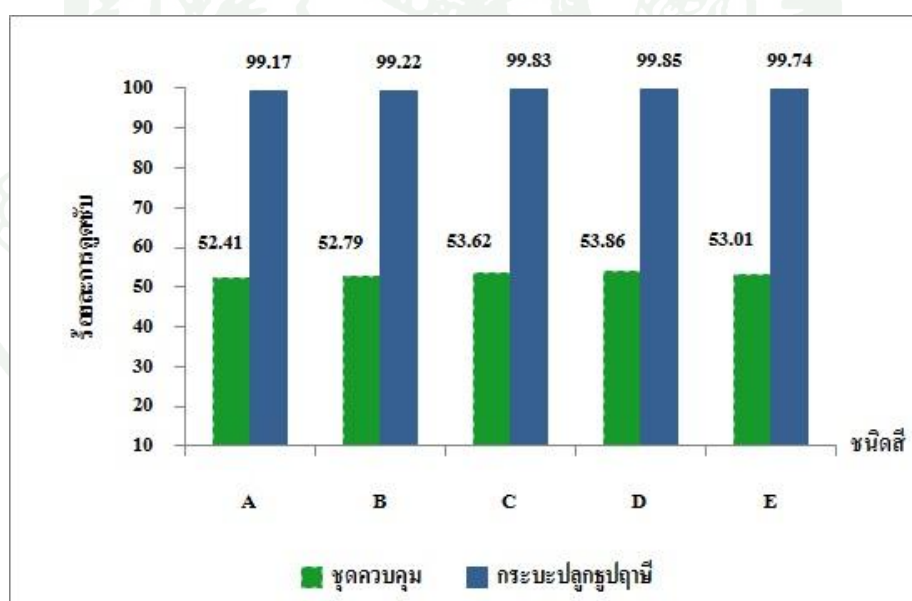
ภาพที่ 43 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากเปลือกกะลาตากาแฟอบผสมกับดินนา ในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โดยวิธีการไหลต่อเนื่อง

7. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก (filtrated lysimeter technique)

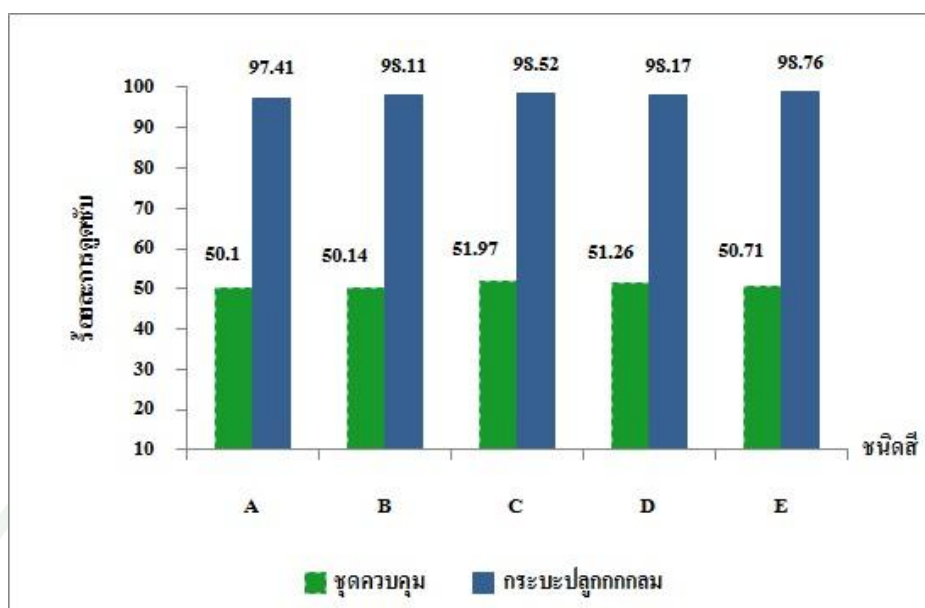
จากการทดลองในข้อ 6 ใช้กระบะพลาสติกขนาด 51 x 51 x 54 เซนติเมตร ชั้นล่างสุดบรรจุกรวดหนา 7 เซนติเมตร ทราวยาบหนา 3 เซนติเมตร ทราวยละเอียดหนา 2 เซนติเมตร และตัวดูดซับเปลือกกะลาตากาแฟอบผสมกับดินนาในอัตราส่วน 1:6 โดยปลูกต้นกกกลมและต้นรูปถ่ายีร่วมกับการกำจัดสีย้อม และใส่น้ำเสียสังเคราะห์ลงในแต่ละกระบะปริมาตร 20 ลิตร ดังภาพที่ 44 แช่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยน้ำออกเก็บมาวิเคราะห์หาปริมาณสีย้อม และจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเหมือนกับข้างต้นอีก 1 ชุด แต่ชั้นบนสุดใส่เฉพาะดินนาเพียงอย่างเดียว ซึ่งใช้เป็นชุดควบคุมการทดลองทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้างต้น ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 45 และ ภาพที่ 46



ภาพที่ 44 กระบะปลูกต้นหญ้าและต้นกกกลม



ภาพที่ 45 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กบำบัดสีข้อม
ในกระบะปลูกหญ้า



ภาพที่ 46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กบำบัดสีข้อม
ในกระเบปปลูกกกกลม

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยชุดควบคุม และตัวดูดซับเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนาเป็นวัสดุปลูก สามารถบำบัดสีข้อมได้ 5 ชนิดดังตารางที่ 8

ผลการทดลองพบว่า การบำบัดสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยวิธีการทดลองด้วยเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมโดยให้ร้อยละการบำบัดสีข้อมแต่ละชนิดดังตารางที่ 8 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบชุดควบคุมที่ไม่ผสมตัวดูดซับกับกระเบปลูกพืชที่ผสมตัวดูดซับพบว่า กระเบปลูกพืชที่ผสมตัวดูดซับมีประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมได้ดีกว่า แสดงว่า เปลือกกะลาเผาผสมกับดินนาและการปลูกพืชช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมได้ ซึ่งกระเบที่ปลูกต้นรูปถ่ายมีมีประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมดีที่สุด อธิบายได้ว่า กระบวนการเจริญเติบโตของต้นรูปถ่ายส่วนที่เป็นรากของพืชจะช่วยดูดสารอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในดิน และดูดซับสารพิษ(toxin) และอินทรีย์สารให้ลดน้อยลง และย่อยสลายให้หมดไปในที่สุด (สารานุกรมไทยในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, 2555) นอกจากนี้ กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำ จะเกิดกระบวนการต่างๆภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น ดินเกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การดูดซับ(adsorption) การตกตะกอน(precipitation) และการกรอง(filtration)

ตารางที่ 8 ร้อยละการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิดของน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยเทคนิคการกรอง
ในหน่วยย่อยขนาดเล็ก

ชนิดสีย้อม	ร้อยละการกำจัดสีย้อมหลังผ่านการกำจัด			
	ต้นรูปถาญี		ต้นกกกกลม	
	กระบะปลูกไม่ผสมตัว ดูดซับ (ชุดควบคุม)	กระบะปลูก ที่ผสมตัวดูด ซับ	กระบะปลูกไม่ ผสมตัวดูดซับ (ชุดควบคุม)	กระบะปลูก ที่ผสมตัวดูดซับ
Red LS-B	52.41	99.17	50.10	97.41
Blue LS-3R	52.79	99.22	50.14	98.11
Br.Blue LS-G	53.62	99.83	51.97	98.52
Navy LS-G	53.86	99.85	51.26	98.17
Turquoise H-GN	53.01	98.76	50.71	99.74
เฉลี่ย	53.14	99.56	50.84	98.19

ส่วนพืชมีกระบวนการดูดซึม(uptake)ธาตุอาหารจากรากสู่ลำต้น และจุลินทรีย์จะทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะช่วยในการเปลี่ยนรูปหรือบำบัดสารปนเปื้อนที่อาจเป็นพิษให้อยู่ในรูปที่ปลอดภัยต่อแหล่งน้ำ (กรกช, 2547) โดยต้นรูปถาญีมีโครงสร้างภายในมีคุณสมบัติในการดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดี เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ SEM-EDX และ XRD พบว่าภายในมีองค์ประกอบของหมู่ซิลิกอนและหมู่แคลเซียมปนอยู่อาจเกี่ยวข้องกับกลไกการกำจัดสีและกำจัดสารอนินทรีย์ต่างๆ โดยเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสีที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลงและมีจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายโมเลกุลของสีให้หมดไปด้วย (สุภาพร, 2547)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาโดยดอง โดยใช้เปลือกกะลาเผาและดินเป็นวัสดุเพาะปลูก โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งส่วนที่ 1 เป็นการทดลองโดยวิธีแบบเบดซ์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสีข้อม ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองโดยวิธีการไหลต่อเนื่อง และส่วนที่ 3 เป็นการทดลองโดยวิธีเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก (filtrated lysimeter technique) ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองในส่วนที่ 1 เป็นการทดลองโดยวิธีแบบเบดซ์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมด้วยเปลือกกะลาเผา ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ เปลือกกะลาเผาอบ และถ่านเปลือกกะลาเผา พบว่า ตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด มีสถานะที่กำจัดสีข้อมได้ดีที่สุดที่สถานะเดียวกัน คือ ปริมาณตัวดูดซับ 9 กรัม ปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 7 และระยะเวลากำจัด 3 ชั่วโมง สามารถกำจัดสีข้อมได้เพียง 5 ชนิด จากสีข้อม 9 ชนิด ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของสีข้อมแต่ละชนิด 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ได้ร้อยละโดยเฉลี่ย 63.68 และ 67.98 ตามลำดับ และยังพบว่ากลไกการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิดนี้ มีกลไกการดูดซับสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับสีข้อมของแลงเมียร์มีค่ามากกว่าฟรอนดิช และนำเปลือกกะลาเผาอบและถ่านเปลือกกะลาเผาผสมกับดินนาในอัตราส่วนต่าง ๆ กันคือ 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 และ 1:7 พบว่า ที่อัตราส่วน 1:6 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ให้ร้อยละการกำจัดเท่ากับ 98.22 และ 99.01 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจึงเลือกเปลือกกะลาเผาอบมาผสมกับดินเป็นวัสดุเพาะปลูกต่อไป

การทดลองในส่วนที่ 2 เป็นการทดลองโดยวิธีแบบไหลต่อเนื่อง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อม โดยจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมตามโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริในคลองม่นแก้วขนาด 5.8 x 37 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุลำดับชั้นของกรวด, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด และเปลือกกะลาเผาอบผสมกับดินนาในอัตราส่วน 1:6 พบว่า ในน้ำเสียสังเคราะห์และในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาโดยดอง ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมโดยร้อยละเฉลี่ยดีที่สุดคือ 77.62 และ 51.75 ตามลำดับ

การทดลองในส่วนที่ 3 เป็นการทดลองโดยวิธีเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก ใน กระบะพลาสติกขนาด 51 x 51 x 54 เซนติเมตร ที่บรรจุลำดับชั้นวัสดุเพาะปลูกร่วมกับการปลูกต้นกก กลมและต้นรูปฤาษีในน้ำเสียสังเคราะห์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่แช่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง พบว่า กระบะปลูกที่ไม่ผสมตัวดูดซับของต้นกกกลมและต้นรูปฤาษีให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อม โดยร้อยละเฉลี่ยคือ 50.84 และ 53.14 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าร้อยละการกำจัดสีข้อมน้อยกว่ากระบะปลูกที่ ผสมตัวดูดซับที่มีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมโดยร้อยละเฉลี่ยคือ 98.19 และ 99.56 ตามลำดับ แสดงว่า เปลือกกะลาอบผสมดินนาเป็นวัสดุเพาะปลูกสามารถกำจัดน้ำเสียที่ ปนเปื้อนสีข้อมได้และนำต้นพืชใหม่มาหมุนเวียนกลับไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้ ทำให้ทราบข้อมูลบางอย่างเพื่อนำไปปรับปรุงงานทดลองครั้งต่อไป จึงเสนอแนะไว้ดังนี้เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ ดังนี้

1. ควรศึกษาถึงประสิทธิภาพตัวดูดซับเปลือกกะลาเผา ในการกำจัดสีข้อมชนิดอื่นหรือสี จากอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมสีและเม็ดสี อุตสาหกรรมหมึกพิมพ์ เป็นต้น รวมทั้งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสารแต่ละชนิด
2. การศึกษาตัวดูดซับชนิดอื่นๆ เช่น เปลือกปาล์มน้ำมัน ผักตบชวา ถัาลอยลิกไนท์ เป็นต้น ที่ เป็นวัสดุดูดซับชีวภาพที่เป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่นและประหยัดมาใช้ในการดูดซับ เพื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในการกำจัดและนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีการกำจัดสีข้อมผ้าสังเคราะห์
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกกะลาเผา มาดูดซับมลสารในน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำทิ้งจากอาคารและชุมชน น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิติโรจน์ หวันตาหลา, ชยาภาส ทับทอง และสินสุภา จุ้ยจุลเจิม. 2543. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วย
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว.

วารสารงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (2): 104-112.

กรกช ชิวส์คำ. 2547. ประสิทธิภาพของการลดซีไอดี และสี ออกจากน้ำเสียด้วยระบบดูดติดผิว
โดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเปลือกมะคาเดเมีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
พิษณุโลก

จินตนา จุลอุล. 2550. การเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวาในการกำจัดสีย้อมไคเร็กที่จากน้ำทิ้ง
โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ. วารสารสิ่งแวดล้อม 3 (6): 11-15.

นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. นำหลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เปล่งศักดิ์ ภู่อจร. 2546. การใช้เรซินผักตบชวาบำบัดสีจากน้ำเสียย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

รัตนา รุจิรวนิช. 2543. การดูดซับสีย้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคดินและไคโตซาน. กองทุนรัชดาภิเษก
สมโภช, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

สารานุกรมไทยในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 2555. คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนว
พระราชดำริการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสีย.

แหล่งที่มา: <http://www.haii.or.th/wiki84/index.php2012.htm>, 17 ธันวาคม 2555.

สุภาพร พงศ์ธรพุกษ์. 2547. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีและปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้ง
ย้อมผ้าโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏ
อุดรดิตถ์.

Buckley, CA. 1992. Membrane Technology for the Treatment of Dyehouse Effluents.

Wat,Sci.Tech. 25 : 203-209.

Kadirvelu, K., M. Kavipriya, C. Karthika, N. Vennilamaani and S. pattabhi. 2003.

Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dye and metal ions from aqueous solutions. **Bioresource Technology**, (87) : 129-132.

Senthikumaar, S., Kalaamani, P., Porkodi, K., Varadarajan, P. R., & Subburaam, C. V.

(2006). Adsorption of dissolved reactive red dye from aqueous phase onto activated carbon prepared from agricultural waste. **Bioresource Technology**, (97) : 1618-1612.

Santhy, K. and P. Selvathy. 2006. Removal of Reactive dyes from wastewater by adsorption

on coir pith activated carbon. **Bioresource Technology**, (97) : 1623-1629.



ตารางผนวกที่ 1 ไอโซเทอร์มการกำจัดสีของเปลือกกะลาแกฟอบ

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	C ₀	C	V(L)	q	1/q	1/C	log q	log C
1	20	3.347	0.010	1.67	0.600	0.299	0.221	0.525
2	20	3.093	0.010	0.85	1.183	0.323	-0.073	0.490
3	20	2.913	0.010	0.57	1.756	0.343	-0.244	0.464
4	20	2.680	0.010	0.43	2.309	0.373	-0.364	0.428
5	20	2.500	0.010	0.35	2.857	0.400	-0.456	0.398
6	20	2.186	0.010	0.30	3.368	0.457	-0.527	0.340
7	20	1.997	0.010	0.26	3.888	0.501	-0.590	0.300
8	20	1.941	0.010	0.23	4.430	0.515	-0.646	0.288
9	20	1.771	0.010	0.20	4.937	0.565	-0.693	0.248
10	20	1.639	0.010	0.18	5.446	0.610	-0.736	0.215
11	20	1.546	0.010	0.17	5.961	0.647	-0.775	0.189
12	20	1.498	0.010	0.15	6.486	0.668	-0.812	0.176

ตารางผนวกที่ 2 ไอโซเทอร์มการกำจัดสีของถ่านเปลือกกะลาเผา

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	C ₀	C	V(L)	q	1/q	1/C	log q	log C
1	20	2.942	0.10	1.71	0.586	0.340	0.232	0.469
2	20	2.681	0.10	0.87	1.155	0.373	-0.063	0.428
3	20	2.391	0.10	0.59	1.704	0.418	-0.231	0.379
4	20	2.075	0.10	0.45	2.232	0.482	-0.349	0.317
5	20	1.890	0.10	0.36	2.761	0.529	-0.441	0.276
6	20	1.724	0.10	0.30	3.283	0.580	-0.516	0.237
7	20	1.561	0.10	0.26	3.796	0.641	-0.579	0.193
8	20	1.451	0.10	0.23	4.313	0.689	-0.635	0.162
9	20	1.405	0.10	0.21	4.840	0.712	-0.685	0.148
10	20	1.358	0.10	0.19	5.364	0.736	-0.730	0.133
11	20	1.317	0.10	0.17	5.888	0.759	-0.770	0.120
12	20	1.300	0.10	0.16	6.417	0.769	-0.807	0.114

ตารางผนวกที่ 3 อิทธิพลของปริมาณเริ่มต้นต่อร้อยละการกำจัดสีด้วยเปลือกกะลาเผา
และถ่านเปลือกกะลาเผา

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ร้อยละการกำจัดสีด้วย เปลือกกะลาเผา	ร้อยละการกำจัดสีด้วย ถ่านเปลือกกะลาเผา
1	7.28	10.62
2	12.44	17.98
3	18.90	26.42
4	23.84	35.48
5	32.72	40.94
6	37.94	45.64
7	39.42	50.36
8	44.38	53.52
9	48.00	54.82
10	49.38	56.14
11	50.66	57.34
12	52.00	58.52

ตารางผนวกที่ 4 อิทธิพลพีเอชกับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาตากาแฟอบและถ่านเปลือกกะลาตากาแฟ

พีเอช	ร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วย เปลือกกะลาตากาแฟอบ	ร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วย ถ่านเปลือกกะลาตากาแฟ
5	51.80	60.51
6	50.37	61.37
7	50.54	61.89
8	48.90	61.45
9	50.17	61.80

ตารางผนวกที่ 5 อิทธิพลระยะเวลากับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลาตากาแฟอบและถ่านเปลือกกะลาตากาแฟ

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วย เปลือกกะลาตากาแฟอบ	ร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วย ถ่านเปลือกกะลาตากาแฟ
1	53.64	64.62
2	54.88	65.55
3	57.66	67.98
4	58.09	68.02
5	58.49	68.46

ตารางผนวกที่ 6 อิทธิพลความเข้มข้นของสีย้อมกับร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วยเปลือกกะลา
กาแฟและถ่านเปลือกกะลากาแฟ

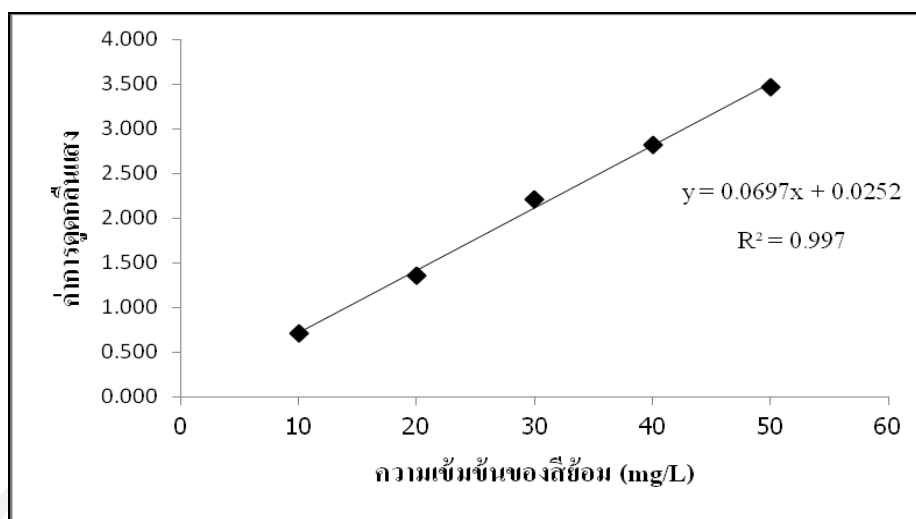
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วย เปลือกกะลากาแฟ	ร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วย ถ่านเปลือกกะลากาแฟ
10	53.64	64.62
20	54.88	65.55
30	57.66	67.98
40	58.09	68.02
50	58.49	68.46

ตารางผนวกที่ 7 อิทธิพลปริมาณดินกับร้อยละการกำจัดสีย้อม

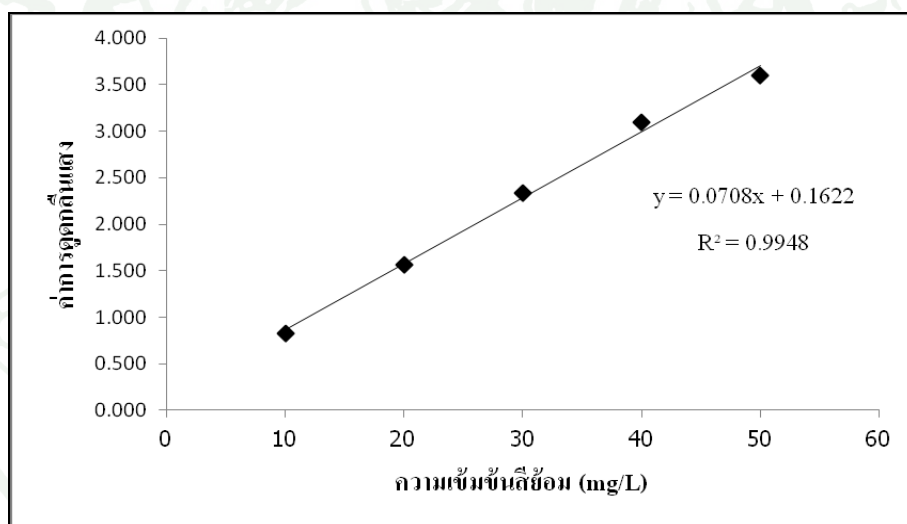
ปริมาณดิน (กรัม)	ร้อยละการดูดซับสีย้อม
1	8.64
2	14.39
3	20.66
4	26.48
5	35.16
6	39.56
7	44.24
8	52.10
9	53.24
10	54.34
11	55.16
12	55.86

ตารางผนวกที่ 8 อิทธิพลอัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกกะลาเผา: ดิน

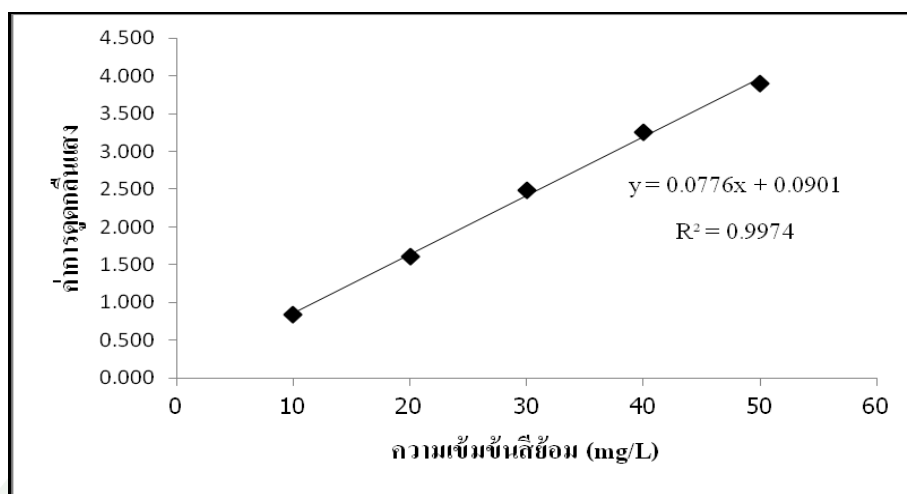
อัตราส่วน	ร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วย เปลือกกะลาเผา	ร้อยละการกำจัดสีย้อมด้วย ถ่านเปลือกกะลาเผา
1:1	65.12	68.46
1:2	74.37	77.28
1:3	82.82	85.04
1:4	87.16	90.37
1:5	93.97	95.61
1:6	98.22	99.01
1:7	98.27	99.09



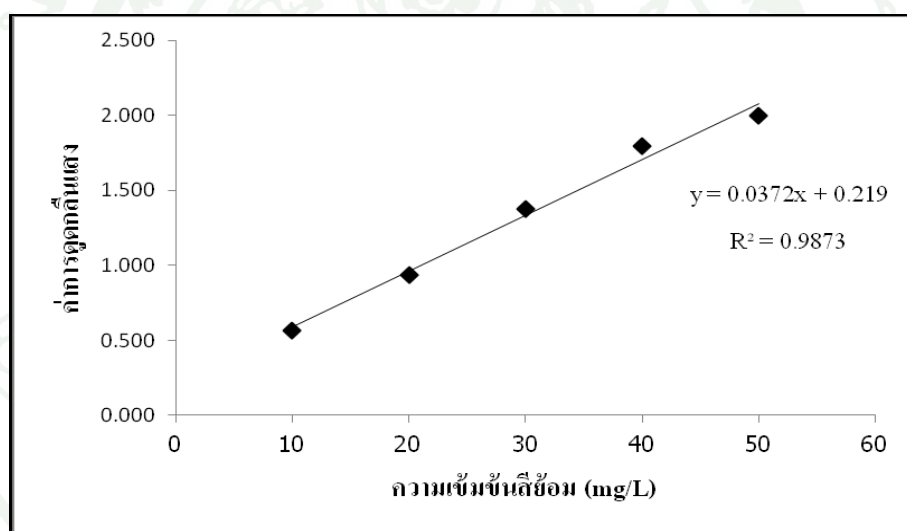
ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมผสมที่ความยาวคลื่น 546 นาโนเมตร



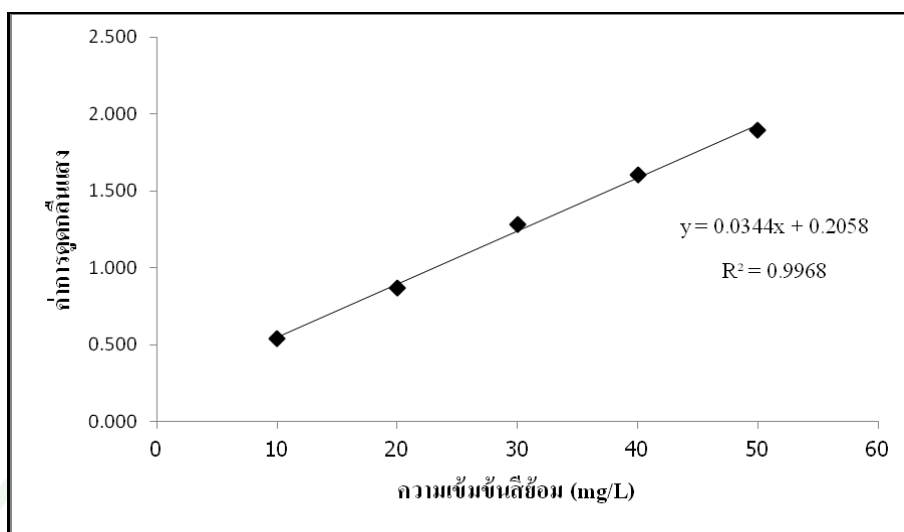
ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมผสมที่ความยาวคลื่น 588 นาโนเมตร



ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานของสารละลายสียอมผสมที่ความยาวคลื่น 616 นาโนเมตร



ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานของสารละลายสียอมผสมที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร



ภาพผนวกที่ 5 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมผสมที่ความยาวคลื่น 666 นาโนเมตร

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาววนัสนันท์ โอชกะ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 มกราคม พ.ศ. 2529
สถานที่เกิด	ฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	วท.บ (เทคโนโลยีทางทะเล) มหาวิทยาลัยบูรพา (พ.ศ. 2551)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	- เป็นผู้นำค่ายวิทยาศาสตร์ทางทะเลร่วมกับศูนย์วิจัย และพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยฝั่ง ตะวันออก - เข้าร่วมการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย ครั้งที่ 2 ประจำปี 2555
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนวิจัยจากโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ